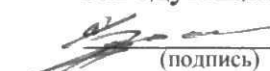


Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ  
(институт)  
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО  
ПРОИЗВОДСТВА  
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.В. Кузьмин  
(подпись) (инициалы, фамилия)

« 14 » февраля 2018г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.10 Электрификация и автоматизация горного производства

(код и наименование специализации)

«Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».  
Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали».  
(тема)

Пояснительная записка

Руководитель

  
(подпись, дата)

к.т.н., доцент  
(должность, ученая степень)

В.А. Меньшиков  
(инициалы, фамилия)

Выпускник

Жалнин 14.02.2018  
(подпись, дата)

И.А. Жалнин  
(инициалы, фамилия)

Красноярск 2018г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему: «Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В» содержит 200 листов, 128 рисунков, 44 таблицы, 10 источников, 8 листов формата А1 графического материала.

**АКТУАЛЬНОСТЬ, РАЗРАБОТКА, МОНТАЖ, НАЛАДКА И АПРОБАЦИЯ СТЕНДА, ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.**

Объектом дипломного проектирования является лабораторная установка для измерения качества электрической энергии в сетях до 1000В.

Цель работы: разработка стенда и методического обеспечения по оценке качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным и изолированным режимами нейтрали.

В процессе работы выполнен анализ основных показателей качества электрической энергии и предъявляемые к ним требования, для сетей трехфазного переменного тока напряжением до 1000В. Выполнено моделирование влияния режима нейтрали сети и характера нагрузки на показатели качества электрической энергии. Разработана конструкция стенда, выполнен монтаж, наладка и апробация работы стенда, разработано методическое обеспечение по выполнению лабораторной работы, разработаны и соблюдены условия безопасности жизнедеятельности при монтаже и наладке лабораторного стенда, разработан сетевой график создания стенда для своевременного завершения работ.

Использование установки в лабораторном практикуме поможет студентам в закреплении теоретических знаний по тематике лекционного материала дисциплины «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
1 Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».....	10
1.1 Актуальность разработки лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» .....	10
1.2 Описание лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» .....	14
1.3 Схема электроснабжения и приборный парк лаборатории .....	27
1.4 Выводы по разделу.....	30
2 Анализ и требования к основным параметрам качества электроэнергии в сетях до 1000В .....	31
2.1 Термины и определения, показатели и нормы качества электроэнергии .	31
2.1.1 Термины и определения .....	31
2.1.2 Показатели и нормы качества электрической энергии .....	33
2.1.2.1 Продолжительные изменения характеристик напряжения .....	33
2.1.2.2 Случайные события.....	39
2.2.1 Система электропитания переменным током.....	41
2.2.2 Характеристики электроприемников .....	44
3 Компьютерное моделирование трехфазной сети и разработка стенда для оценки и измерения качества электрической энергии в сетях до 1000В .....	46
3.1 Результаты моделирования линейной, равномерной, симметричной нагрузки с изолированным режимом нейтрали сети.....	50
3.2 Результаты моделирования линейной, равномерной, симметричной нагрузки с глухозаземленным режимом нейтрали сети .....	60
3.3 Результаты моделирования линейной, неравномерной, симметричной нагрузки с изолированным режимом нейтрали сети.....	66
3.4 Результаты моделирования линейной, неравномерной, симметричной нагрузки с глухозаземленным режимом нейтрали сети .....	70
3.5 Результаты моделирования импульсной, равномерной, симметричной нагрузки с изолированным режимом нейтрали сети.....	76
3.6 Результаты моделирования импульсной, равномерной, симметричной нагрузки с глухозаземленным режимом нейтрали сети .....	83
3.7 Результаты моделирования двигательной нагрузки с изолированным режимом нейтрали сети .....	90
3.8 Результаты моделирования двигательной нагрузки с глухозаземленным режимом нейтрали сети .....	96
3.9 Результаты моделирования нагрузки преобразователь – двигатель с изолированным режимом нейтрали сети.....	99
3.10 Результаты моделирования нагрузки преобразователь – двигатель с глухозаземленным режимом нейтрали сети.....	101

3.11 Результаты моделирования импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки с изолированным режимом нейтрали сети.....	105
3.12 Результаты моделирования импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки с глухозаземленным режимом нейтрали сети .....	117
3.13 Результаты моделирования перенапряжений при коммутации конденсаторных установок подключенных к трансформаторам.....	123
3.14 Выводы по разделу 3.....	126
4 Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы «Оценка воздействия высокочастотной составляющей однофазного тока короткого замыкания на работоспособность МПУ подстанций 110кВ» .....	128
4.1 Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенд» .....	128
4.2 Выбор рабочего напряжения и автоматических выключателей .....	131
4.3 Разработка принципиальной электрической и монтажной схем стенда .	132
4.4 Выбор необходимых измерительных приборов и оборудования .....	137
4.4.1 Мультиметр .....	137
4.4.2 Осциллограф.....	138
4.1.3 Анализатор и регистратор качества электрической энергии.....	140
4.5 Апробация работы стенда .....	142
4.5.1 Алгоритм выполнения лабораторной работы «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали» .....	142
4.5.2 Алгоритм выполнения лабораторной работы «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с изолированным режимом нейтрали» .....	157
4.6 Выводы по разделу 4.....	157
5 Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с изолированным режимом нейтрали» .....	158
5.1 Методические указания к лабораторной работе: «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с изолированным режимом нейтрали» .....	158
5.1.1 Введение.....	161
5.1.2 Техника безопасности при работах в лаборатории .....	161
5.1.3 Общие указания по оформлению отчетов .....	162
5.1.4 Общие положения .....	162
5.1.5 Термины и определения .....	168
5.1.6 Показатели и нормы качества электрической энергии .....	171
5.1.6.1 Продолжительные изменения характеристик напряжения .....	172
5.1.6.2 Случайные события.....	179
5.1.7 Лабораторная работа №1 .....	181
5.2 Возможные варианты выполнения лабораторной работы.....	189
6 Безопасность жизнедеятельности .....	192

6.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	192
6.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда выключателей.....	193
6.3 Освобождение пострадавшего от электрического тока (токопроводящего провода) выключателей.....	195
6.4 Мероприятия по производственной санитарии .....	195
6.5 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности.....	196
7 Разработка сетевого графика.....	197
Заключение .....	200
Список сокращений .....	201
Список использованных источников .....	202

## ВЕДЕНИЕ

Широкое использование микропроцессорной техники и устройств на подстанциях (ПС) напряжением 110кВ и выше требует решение вопроса электромагнитной совместимости с оборудованием ПС и режимами ее работы. К режимам работы относятся: нормальный режим эксплуатации и аварийные режимы. К аварийным режимам работы относятся: режимы короткого замыкания (КЗ) и эксплуатация ПС в период грозовой активности. Известно, что импульсные магнитные поля, возникающие в режиме короткого замыкания или при разряде молнии в молниеприемник на ПС, негативно влияют на работоспособность микропроцессорных устройств (МПУ). Негативное влияние на работоспособность МПУ оказывают электромагнитные помехи, распространяющиеся в воздушном пространстве по контрольным и силовым кабелям.

Одним из основных источников электромагнитных помех являются нелинейные электроприемники, к которым относятся: современные системы освещения на базе светодиодных приборов, электродвигатели, работающие в режиме холостого хода или с небольшой нагрузкой, тиристорные преобразователи и сварочные агрегаты.

Электроприемники с линейной характеристикой практически не влияют на качество электроэнергии. К данным электроприемникам относятся: системы освещения на лампах накаливания и конденсаторные установки.

Приобретение студентами навыков и опыта в оценке качества электроэнергии в сетях до 1000В и его влияние на работоспособность МПУ является актуальной задачей. Вследствие этого целью настоящей дипломной работы является разработка стенда и методического обеспечения по оценке и измерению основных параметров качества электроэнергии в сетях до 1000В.

Для решения поставленной цели необходимо рассмотреть следующие задачи:

- 1) Анализ и требования к основным параметрам электроэнергии в сетях до 1000В.
- 2) Теоретическое изучение. Влияние качества электроэнергии на работоспособность МПУ. Разработка схемы стенда по оценке и измерению основных показателей качества электроэнергии в сетях до 1000В.
- 3) Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда.
- 4) Разработка методического обеспечения лабораторной работы «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии»
- 5) Обеспечение безопасности жизнедеятельности при монтаже и наладке лабораторного стенда.
- 6) Разработка сетевого графика для своевременного завершения работ, связанных с монтажом и наладкой стенда.

# 1 Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

## 1.1 Актуальность разработки лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

Учебной программой подготовки специалистов по направлению «Электрификация и автоматизация горных работ» предусмотрена дисциплина «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Изучение данной дисциплины связано с широким внедрением микропроцессорной техники на ПС. Использование МП техники позволяет коренным образом изменить функционирование подстанций. Защиты, выполненные на МПУ, становятся универсальными, занимают небольшие пространства, позволяют выполнять резервирование, что приводит к повышению надежности подстанции в целом.

Опыт эксплуатации МПУ на ПС показал, что надежная работа устройств обеспечивается соответствующей электромагнитной обстановкой и электромагнитной совместимостью с режимами работы и оборудованием подстанций. Основные требования для МПУ приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Виды испытаний на помехоустойчивость и помехоэмиссию вторичного оборудования и рекомендуемые степени жесткости

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
1	Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю. Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме) и импульсным напряжением.	ГОСТ 30328-95 МЭК 60255-5		2000В переменного тока	Для всех портов питания и для портов проводных цепей, выходящих на РУ
			Порт корпуса	100А/м(длительно) 1000А/м (кратковременно)	Для устройств чувствительных к магнитным полям
2	Магнитные поля промышленной частоты от силового оборудования в нормальных и аварийных режимах. На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты	ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8).	5 степень  2 степень	3А/м (длительно)	Для мониторов с электроннолучевой трубкой

Продолжение таблицы 1.1

3	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от внешних и внутренних устройств связи.	ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 6100-4-3)	Не ниже 3 степени	10В/м	Для всех устройств
	На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям				
	Импульсные магнитные поля от молнии и первичных цепей.	ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93)	Не ниже 4 степени	300А/м	Для устройств чувствительных к магнитным полям
4	На устойчивость к импульсному магнитному полю.				
	Разряды статического электричества с персонала.	ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96)	Не ниже 3 степени жесткости	6кВ контактный 8кВ воздушный	Для всех устройств.
5	На устойчивость к разрядам статического электричества				
6	Сигнальные порты			-	
7	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-96)	Локальное Полевое 3 степень (для однократных) 2 степень (для повторяющихся)	2кВ(провод-земля), 1кВ (провод-провод) 1кВ(провод-земля), 0,5кВ (провод-провод)	Для всех устройств
	На устойчивость к колебательным затухающим помехам.		<u>С оборудованием</u> 4 степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	4кВ(провод-земля), 2 кВ (провод-провод) Противофазное 2,5кВ(провод-земля), 1 кВ (провод-провод)	
8			Локальное Провод-земля 2 степень Провод-провод 1 степень	1кВ 0,5кВ	
	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95)	Полевое Провод – земля 3 степень Провод-провод 2 степень С оборудованием Провод земля 4 степень Провод – провод 3 степень	2кВ 1кВ 4кВ 2кВ	Для всех устройств.



Продолжение таблицы 1.1

8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам.	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 60255-22-4).	Локальное		
			3 степень		
			Полевое	1кВ	
9	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150кГц до 80МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96)	4 степень		Для всех устройств
			С	2кВ	
			оборудованием		
10	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	Специальная	4кВ	
			степень		
			жесткости		
11	Прерывания напряжения	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99).	Питание постоянным током		Только для входных портов
			30%(1с)		
			60%(0,1с)		
12	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока.	ГОСТ Р 51317.4.16-2000 (МЭК 61000-4-16-96)	100%(0,5с)		Для всех портов питания постоянного тока
			Не ниже 3	Пульсации не выше 10%	
			степени		
13	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе от 0 до 150 кГц	ГОСТ Р 51317.4.16-2000 (МЭК 61000-4-16-96)	Не ниже 3	10В (длительно)	Для всех портов питания постоянного тока
			степени	100В (1 с)	
14	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	Провод земля	2кВ	Для всех портов питания постоянного тока
			3 степень		
			Провод-провод	1кВ	
15	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам.	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 степень	4кВ	Для всех портов питания постоянного тока
16	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе от 150кГц до 80МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96)	3 степень	10В	Для всех портов питания постоянного тока
17	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4степень (для однократных)	4кВ (провод-земля)	Для всех портов питания постоянного тока
			3 степень (для повторяющихся)	2кВ (провод-провод)	
				2,5кВ (провод-земля), 1 кВ (провод-провод)	
18	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	Питание переменным током		Только для входных портов
			30%(50периодов) 60%(1 период)		
			100%(5периодов)		
19	Прерывания напряжения				

Продолжение таблицы 1.1

18	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока.	ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13).			
	На устойчивость к колебаниям напряжения	ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000).	В соответствии с рекомендациями СТО 56947007-29.240.044-2010		Для всех портов питания переменного тока.
	На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания	ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94).			
19	На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока	ГОСТ Р 51317.4..28 - 2000 (МЭК 61000-4-28-2000).			
20	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.. Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 степени	10В	Для всех портов питания переменного тока
21	На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	4кВ(провод – земля) 2кВ (провод-провод) 2,5кВ (провод-земля), 1кВ (провод-провод)	Для всех портов питания переменного тока
22	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4степень	4кВ	Для всех портов питания переменного тока
23	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96).	Провод -земля 4 степень Провод-провод 3 степень	4кВ 2кВ	Для всех портов питания переменного тока.
Порт функционального заземления					
24	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи применением емкостных клещей связи)	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 степень	4кВ	Требования применяют к соединениям с функциональными заземлением, отделенным от защитного заземления
25	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 степени	10В	10В=140дБ

## Окончание таблицы 1.1

		Помехоэмиссия
26	Радиопомехи от оборудования. Помехоэмиссия	ГОСТР
		51318.22- 99
		(СИСПР 22 - 97)
		ГОСТР
		51318.11-99
		(СИСПР 11- 97)

Анализ таблицы 1.1 указывает на то, что применение МПУ допускается после выполнения обследования электромагнитной обстановки на ПС. Комплексное обследование электромагнитной обстановки на ПС выполняется в следующих направлениях:

1. Диагностика заземляющего устройства (ЗУ).
2. Анализ эффективности систем молниезащиты.
3. Устойчивость МПУ к режимам КЗ и ударам молнии.
4. Измерение, расчеты и анализ влияния электромагнитных полей на функционирование МПУ.
5. Изучение влияния импульсных электромагнитных полей и качества электрической энергии на работоспособность МПУ.
6. Влияние качества источников постоянного тока на состояние МПУ.

Методы измерения параметров ЭМО и методика их анализа приведена в СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях»; СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства»; СТО 56947007-29.130.15.105-2011 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок».

Данные материалы позволяют разработать лабораторию по дисциплине «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на ПС». Наличие данной лаборатории является актуальным, так как позволяет привить навыки и умения студентам по основным направлениям, связанным с изучением ЭМО и ЭМС на подстанциях. Получение знаний и навыков в данной области в дальнейшем позволят студентам получить комплексные знания по специализации электрификация и автоматизация горных работ, что положительно отразится на их профессиональной деятельности.

## **1.2 Описание лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»**

Лаборатория по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» расположена на 3 этаже учебного корпуса института горного дела геологии и геотехнологий СФУ в

аудитории 307. Общая площадь лаборатории составляет 48,9м<sup>2</sup>. Внешний вид помещения до расположения оборудования и стендов лаборатории показан на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид аудитории 307 до создания лаборатории

Для проведения лабораторных работ по курсу ЭМО и ЭМС были разработаны следующие стенды:

1. «Оценка качества электропитания источника постоянного тока»
2. «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»
3. «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»
4. «Определение металлосвязи и напряжения прикосновения»
5. «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»
6. «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»

Внешний вид лицевых панелей перечисленных стендов показан на рисунках 1.2 - 1.7.

Внешний вид лаборатории с установленными стендами показан на рисунках 1.8 - 1.9.

Стенд №1 . «Оценка качества электропитания источника постоянного тока».

Позволяет оценить основные показатели качества источника постоянного тока, к которым относятся: отклонение напряжения, размах и пульсация выпрямленного напряжения. Данный стенд наглядно показывает, как влияет схема источника постоянного тока на качество электропитания. Кроме того данный стенд демонстрирует как изменяется качество электропитания источника постоянного тока при использовании LC фильтров и аккумуляторных батарей. С помощью стенда, можно проследить, какие изменения происходят в выпрямленном напряжении в случае выхода из строя силовых диодов. Методическое обеспечение данного стенда включает 6 вариантов выполнения работы.



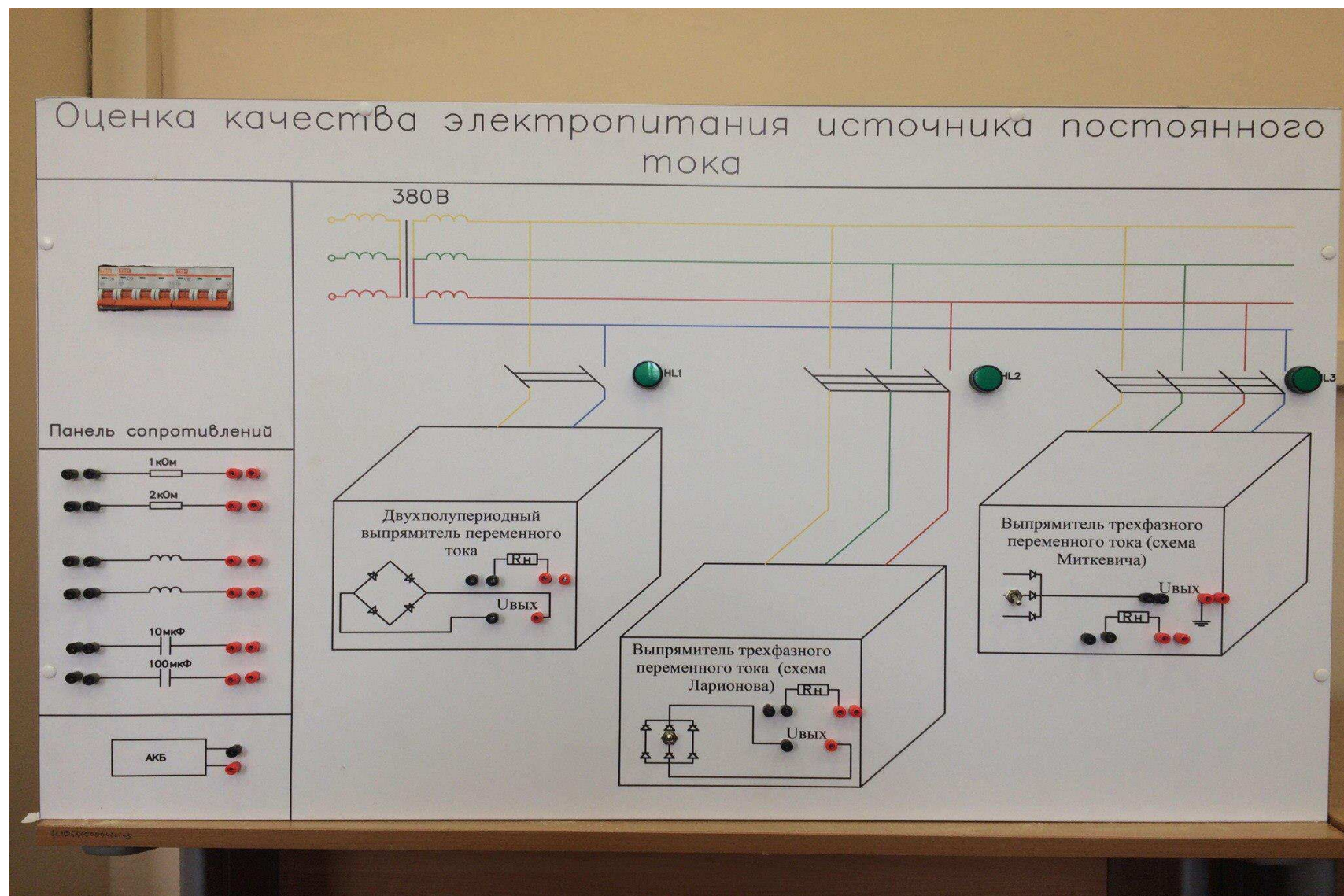


Рисунок 1.2 – Лицевая панель стенда «Оценка качества электропитания источника постоянного тока»

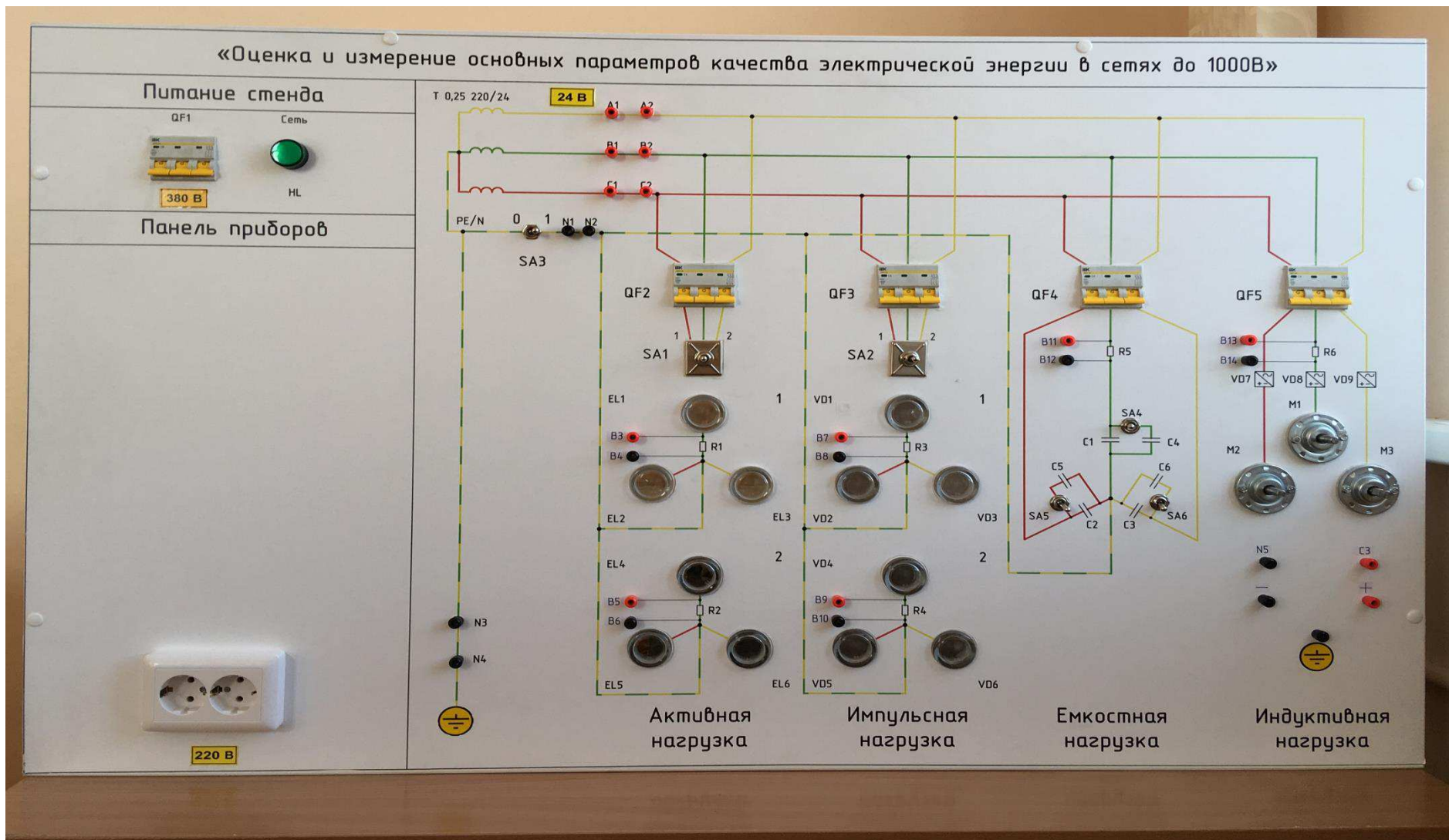


Рисунок 1.3 – Лицевая панель стенда «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»



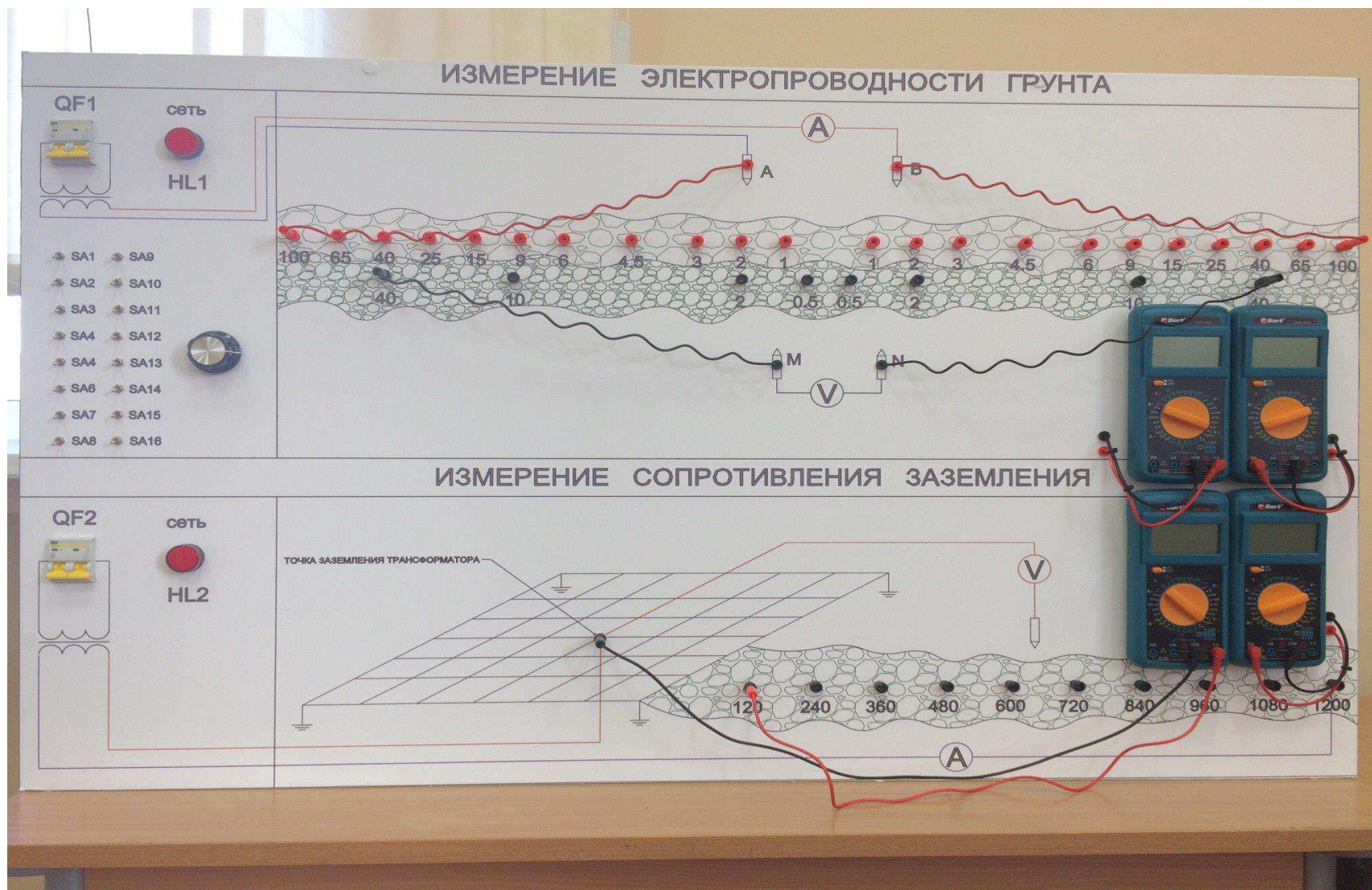


Рисунок 1.4 – Лицевая панель стенда «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»





Рисунок 1.5 – Лицевая панель стенда «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения»



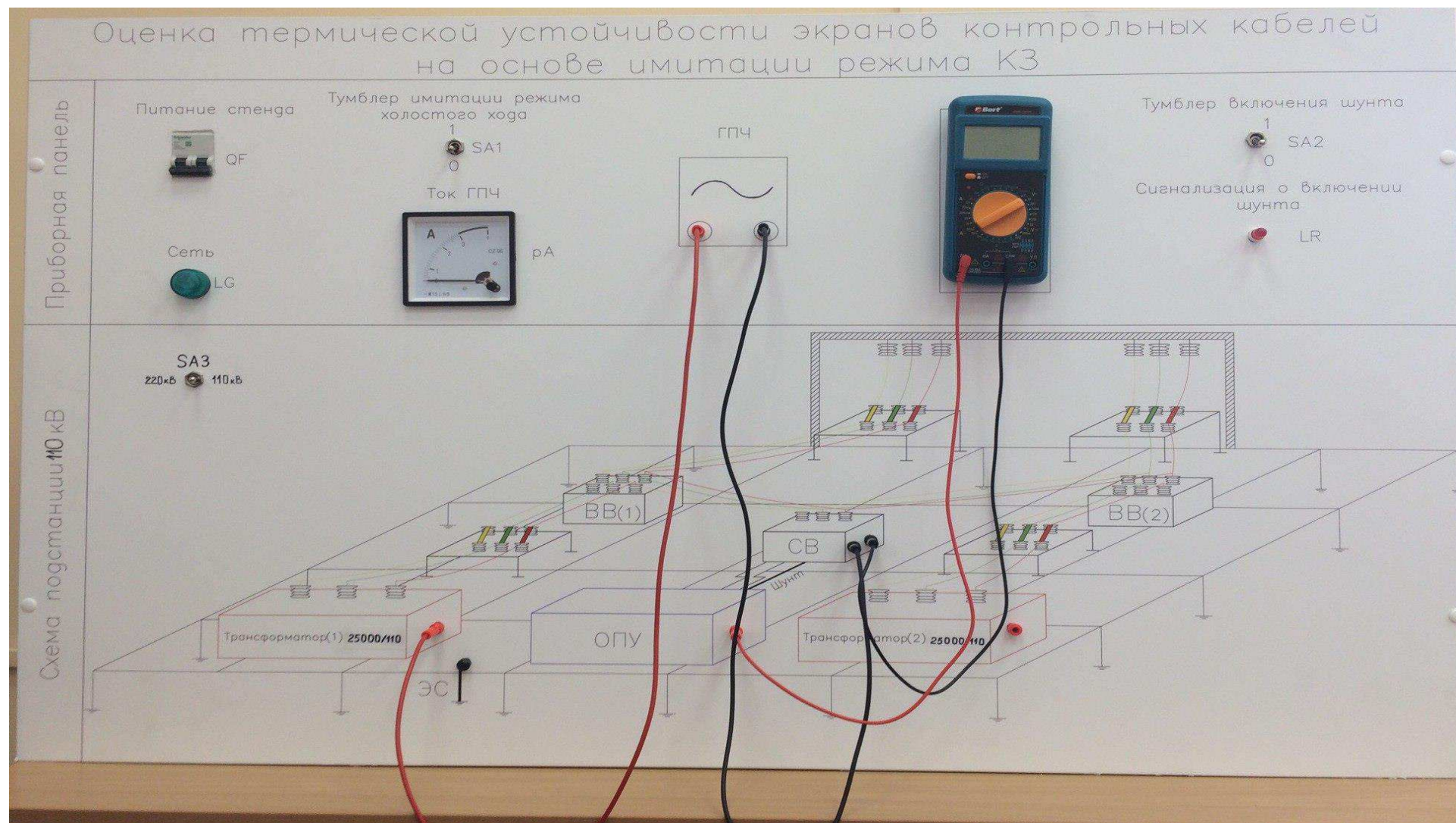


Рисунок 1.6 – Лицевая панель стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»



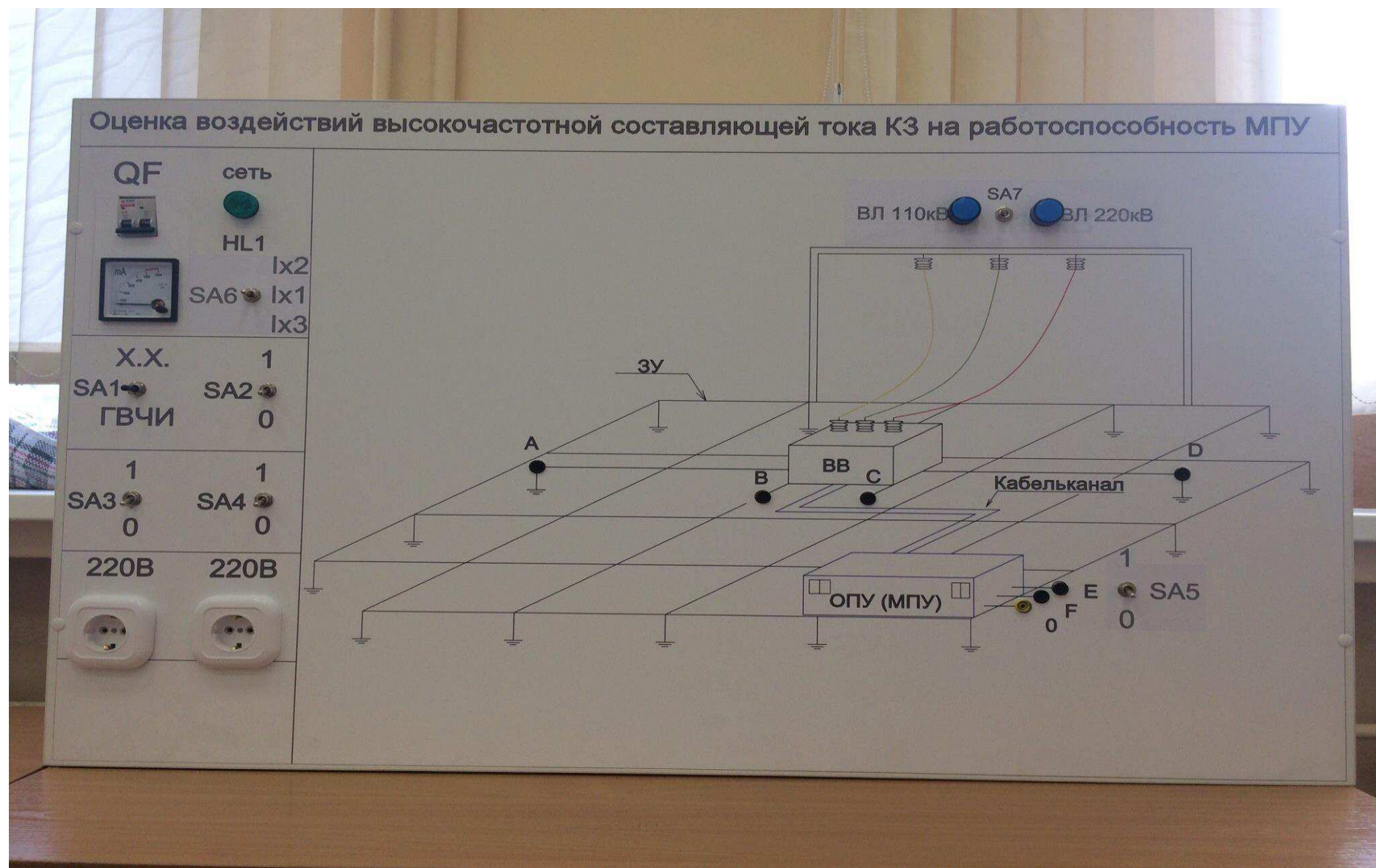


Рисунок 1.7 – Лицевая панель стенда «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»





Рисунок 1.8 – Внешний вид лаборатории по изучению электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости на подстанциях.



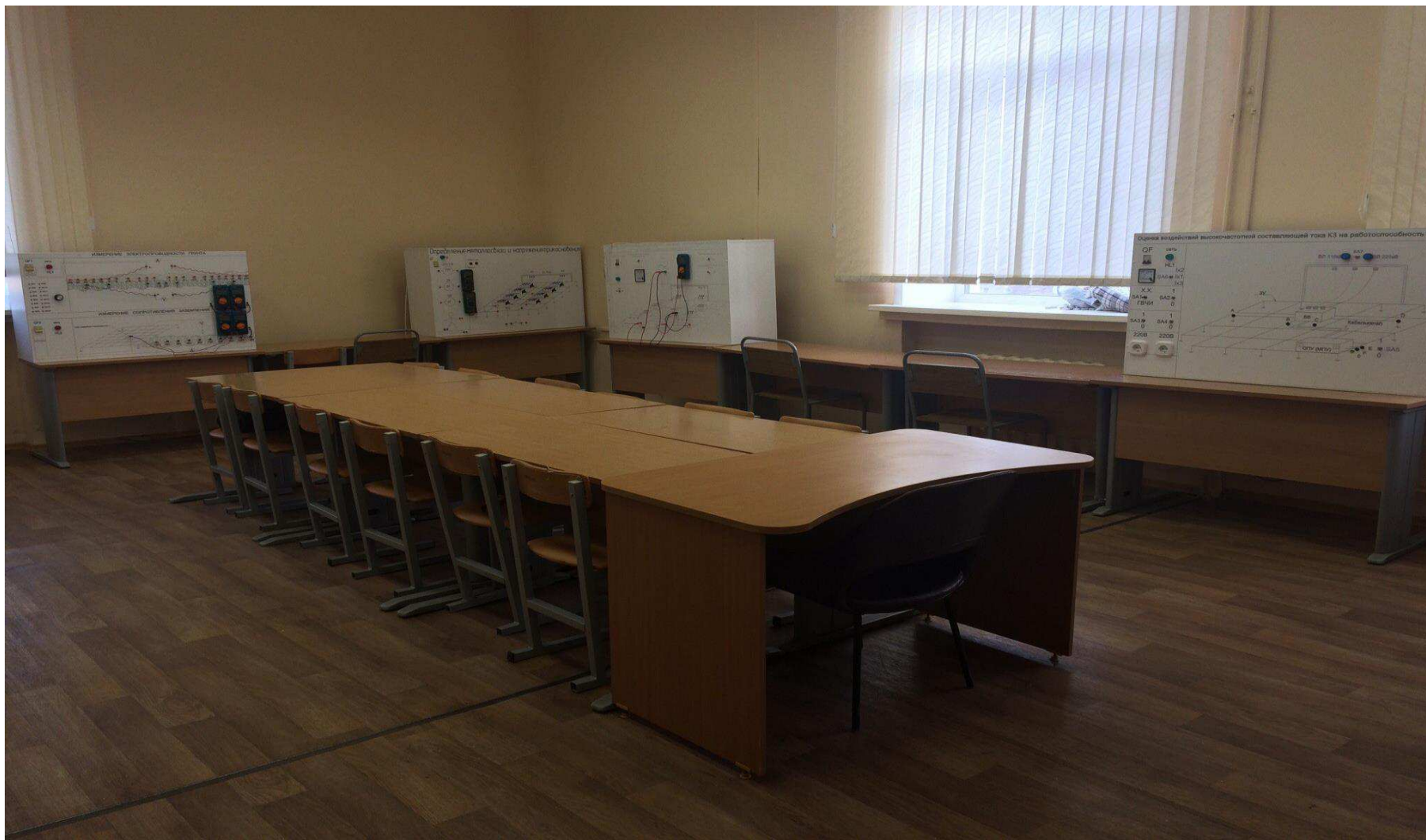


Рисунок 1.9 - Внешний вид лаборатории по изучению электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости на подстанциях.

Стенд №2 «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В».

Данный стенд позволяет оценить основные параметры качества электрической энергии в сетях переменного тока до 1000В. К таким показателям относятся: отклонение напряжения, отклонение частоты, несимметрия напряжения, несинусоидальность напряжения и тока, спектральный состав напряжения и тока, фликер. Стенд позволяет измерять и анализировать показатели качества электроэнергии в сетях с изолированным и глухозаземленным режимом нейтрали. С помощью стенда можно имитировать как линейную, так и не линейную нагрузку. В роли линейной нагрузки выступают лампы накаливания и конденсаторы. В качестве нелинейной нагрузки используются электродвигатели и светодиодное освещение. Кроме этого использование светодиодов позволяет установить влияние импульсной нагрузки на показатели качества электрической энергии. Наличие электроприемников, имеющих различные параметры, позволяет в комплексе оценить их влияние на показатели качества электроэнергии, например параллельная работа электродвигателей с системами освещения, выполненными на лампах накаливания или светодиодных лампах, влияние конденсаторных установок на токи электродвигателя и т.д. Таким образом, данный стенд в достаточной мере отражает влияние нагрузки на показатели качества электроэнергии. Методическое обеспечение данного стенда включает 8 вариантов выполнения работы.

Стенд №3 «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления».

Данный стенд позволяет изучить методы по измерению электропроводности грунтов и заземляющих устройств подстанций и привить соответствующие навыки студентам. В основу измерения электропроводности грунтов положен метод вертикального электрического зондирования, так как данный метод нашел широкое применение на практике. Измерение сопротивления заземления ПС производится по методу амперметра – вольтметра. Указанные методы измерений электропроводности грунтов и заземления рекомендованы СТО 56947007-29.130.15.105-2011. Кроме этого, полученные данные по электропроводности грунта на ПС позволяют определить сопротивление ЗУ расчетным путем и сравнить результаты с измеренными данными. Таким образом, работа на данном стенде позволит студентам получить навыки по использованию расчетных и инструментальных методов по определению сопротивления заземления, а также рассчитать напряжение на ЗУ в режиме КЗ. Методическое обеспечение данного стенда включает 10 вариантов выполнения работы.

Стенд №4 «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения».

Данный стенд позволяет изучить метод амперметра-вольтметра при определении сопротивления металlosвязи и напряжения прикосновения.

Кроме этого данный стенд наглядно демонстрирует работу шины уравнивания потенциалов для снижения сопротивления металлосвязи и подсыпки из щебня в рабочих зонах на ПС для снижения напряжения прикосновения. Методическое обеспечение данного стенда включает 10 вариантов выполнения работы.

Стенд №5 «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

Данный стенд позволяет изучить влияние режимов КЗ на функционирование МПУ, связанных с надежностью контрольных кабелей. Одной из основных причин выхода из строя контрольного кабеля является протекание токов по экранам контрольного кабеля, которые способны привести к термическому разрушению кабеля. Стенд позволяет изучить метод имитации режима КЗ для оценки токов в экране контрольного кабеля в случае возникновения однофазного КЗ на подстанции. Кроме этого стенд демонстрирует эффективность использования ШУП для снижения токов в экранах контрольных кабелей. Методическое обеспечение данного стенда включает 30 вариантов выполнения работы - 15 вариантов при имитации ПС110кВ и 15 вариантов при имитации ПС 220кВ.

Стенд №6 «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»

Данный стенд изучает влияние переходных процессов в момент возникновения КЗ на ОРУ подстанций. Основным негативным фактором, влияющим на работоспособность МПУ в первый момент времени при возникновении КЗ, являются высокочастотные составляющие тока КЗ, которые через емкостные связи могут привести к термическому разрушению МПУ или к срыву их функционирования. Стенд позволяет изучить методы по определению импульсного сопротивления оборудования, синфазных и противофазных помех поступающих на вход МПУ и оценить опасность данных помех для функционирования МПУ. Методическое обеспечение данного стенда включает 6 вариантов выполнения работы - 3 варианта при имитации ПС110кВ и 3 варианта при имитации ПС 220кВ.

Таким образом, стенд №1 и стенд №2 позволяют приобрести навыки по изучению показателей качества источников постоянного и переменного тока. Стенд №3 и №4 позволяют получить теоретические знания и практические навыки, связанные с диагностикой заземляющих устройств. Стенд №5 и №6 дают практические навыки и знания студентам по оценке негативного влияния режимов КЗ на МПУ

На рисунке 1.10 приведен план расположения оборудования в лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

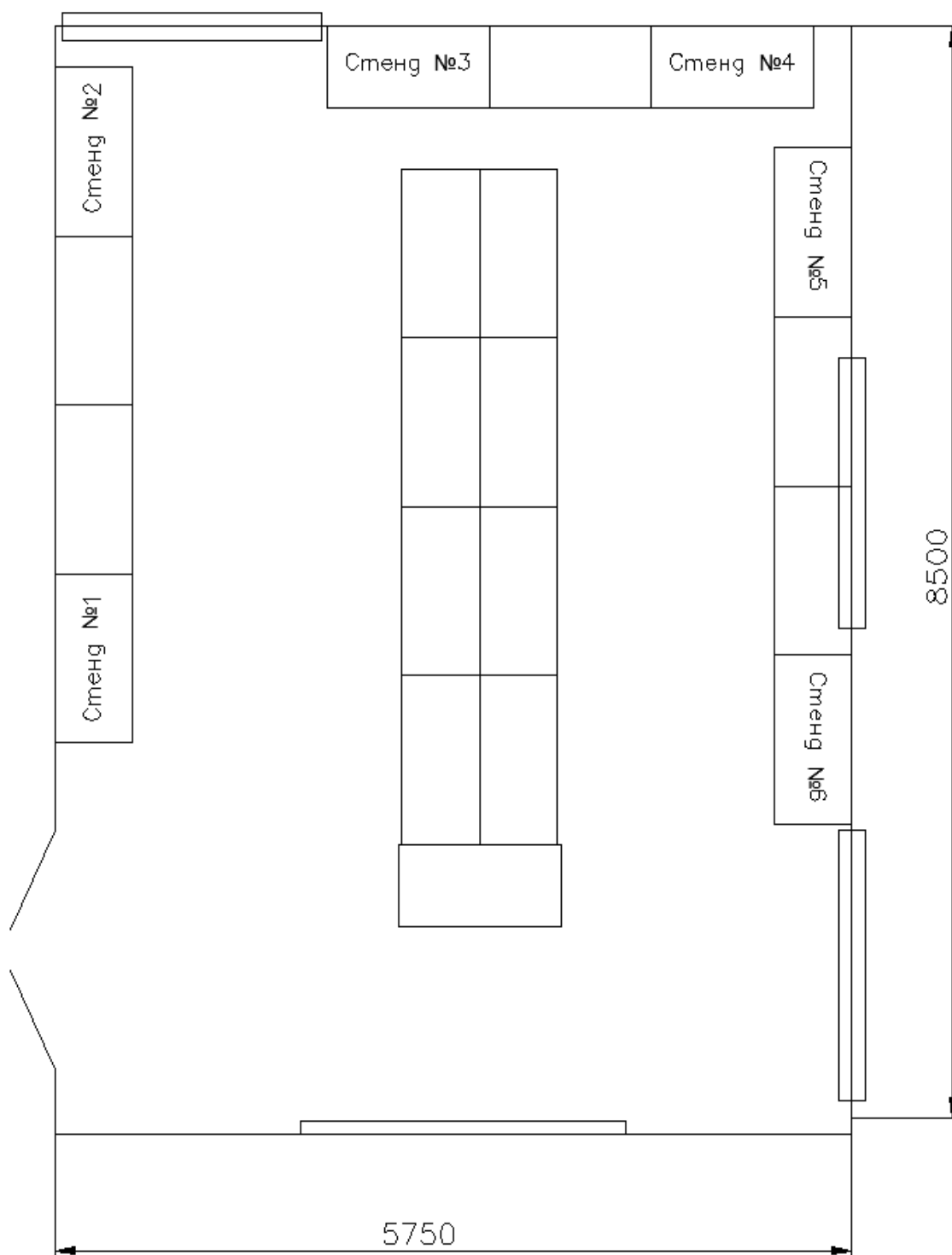


Рисунок 1.10 – План расположения оборудования в лаборатории

### 1.3 Схема электроснабжения и приборный парк лаборатории

Для питания стендов используется трехфазный переменный ток. Схема электроснабжения приведена на рисунке 1.11.



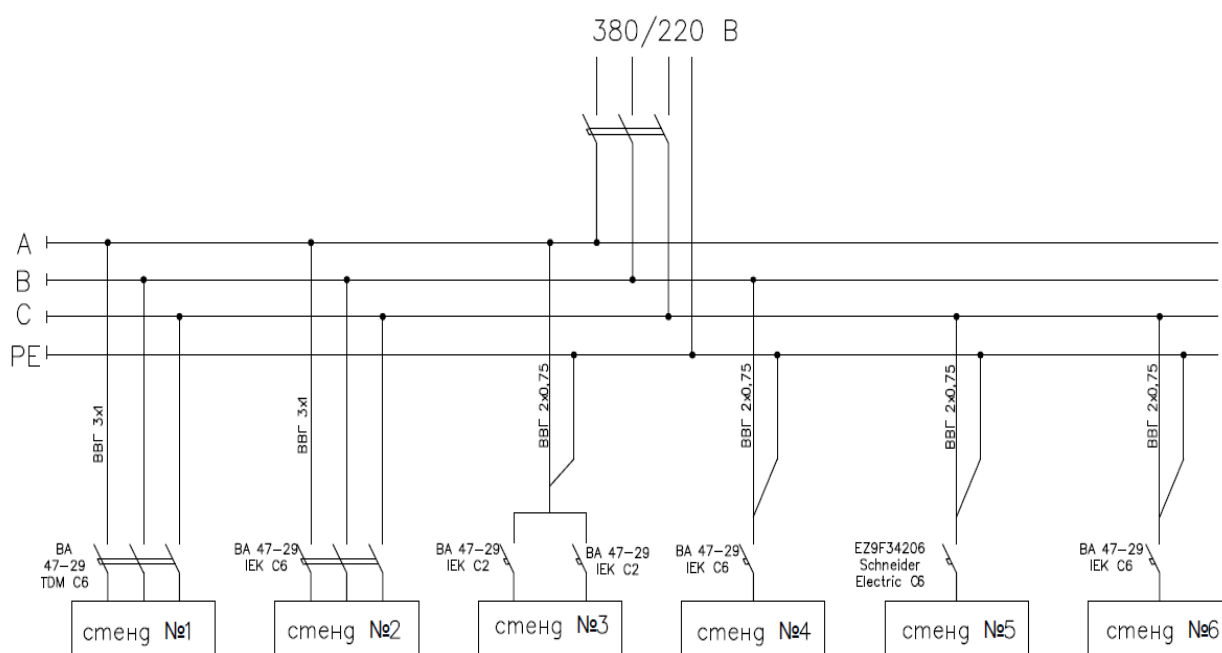


Рисунок 1.11 - Схема электроснабжения лаборатории

В качестве защитных аппаратов используются автоматические выключатели. Перечень применяемых вводных автоматических выключателей по стендам приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Перечень автоматических выключателей

Стенд	Марка и характеристики автоматического выключателя	Количество
«Оценка качества электропитания источника постоянного тока»	ВА 47-29 TDM C6 3p	1
Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»	ВА 47-29 IEK C6 3p	1
«Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»	ВА 47-29 IEK C2 2p	2
«Определение металлосвязи и напряжения прикосновения»	ВА 47-29 IEK C6 2p	1
«Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»	EZ9F34206 Schneider Electric C6 2p	1
«Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»	ВА 47-29 IEK C6 2p	1

Стенд № 1 получает питание от трехфазной сети переменного тока 380В. Питание на стенд поступает через трехполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 ТДМ С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 3х1

Стенд №2 также запитывается от трехфазной сети переменного тока 380В. Питание на стенд поступает через трехполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 3х1.

Стенд № 3 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. На данном стенде выполняются 2 лабораторные работы и на каждую работу установлен отдельный двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С2. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд № 4 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд № 5 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель EZ9F34206 Schneider Electric С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд №6 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

На стендах по изучению «Электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости» используются различные приборы. Приборный парк лаборатории представлен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Приборный парк лаборатории

Наименование прибора	Марка (модель), характеристики	Количество
Амперметр переменного тока	CZ-96, 0...3А	1
Аналоговый амперметр переменного тока	CG -72, 0...500мА	1
Осциллограф	Fluke 196C	1
Мультиметр	Bort BMM-1000N	5
Мультиметр	Best DT-9205M	2
Мультиметр	Mastech MS8268	1
Двухканальный генератор сигналов прямого цифрового синтеза	MHS-5200P 25	1
Анализатор регистратор качества электрической энергии с функцией измерения фликера	REN-700	1

## **1.4 Выводы по разделу 1**

На основании вышеизложенного материала можно сделать следующие основные выводы:

1. Разработанные стенды позволяют оценить основные параметры электромагнитных обстановки и совместимости на подстанциях, соответствующие требованиям нормативных документов Федеральной сетевой компании единой энергетической службы (ФСК ЕЭС) России.

2. Использование современных измерительных приборов позволяет научить студентов их применению в реальных условиях эксплуатации оборудования на ПС.

## **2 Анализ и требования к основным параметрам качества электроэнергии в сетях до 1000В**

### **2.1 Термины и определения, показатели и нормы качества электроэнергии**

Термины и определения, показатели качества электроэнергии определяются **ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.**

#### **2.1.1 Термины и определения**

Для определения качества электроэнергии используются термины и определения:

- **система электроснабжения общего назначения:** Совокупность электроустановок и электрических устройств, предназначенных для обеспечения электрической энергией различных потребителей электрических сетей.
- **пользователь электрической сети:** Сторона, получающая электрическую энергию от электрической сети, либо передающая электрическую энергию в электрическую сеть. К пользователям электрических сетей относят сетевые организации и иных владельцев электрических сетей, потребителей электрической энергии, а также генерирующие организации.
- **распределительная электрическая сеть:** Совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии между пользователями электрической сети, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.
- **сетевая организация:** Организация, владеющая на праве собственности или ином, установленном законами основании объектами электросетевого хозяйства, с использованием которых оказывающая услуги по передаче электрической энергии и осуществляющая в установленном порядке технологическое присоединение энергоприманивающих устройств (энергетических установок) юридических и физических лиц к электрическим сетям, а также осуществляющая право заключения договоров об оказании услуг по передаче электрической энергии с использованием объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих другим собственникам и иным законным владельцам и не входящих в единую национальную электрическую сеть.
- **потребитель электрической энергии:** Юридическое или физическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (мощностью) на основании заключенного договора.
- **точка передачи электрической энергии:** Точка электрической сети, находящаяся на линии раздела объектов электроэнергетики между

владельцами по признаку собственности или владения на ином предусмотренном законами основании, определенная в процессе технологического присоединения.

- **точка общего присоединения:** электрически ближайшая к конкретной нагрузке пользователя сети точка, к которой присоединены нагрузки других пользователей сети.
- **номинальное напряжение:** Напряжение, для которого предназначена или идентифицирована электрическая сеть, и применительно к которому устанавливают ее рабочие характеристики.
- **напряжение электропитания:** Среднеквадратическое значение в определенный момент времени в точке передачи электроэнергии пользователю электрической сети, измеряемое в течение установленного интервала времени.
- **согласование напряжение электропитания  $U_c$ :** Напряжение, отличающееся от стандартного номинального напряжения электрической сети по ГОСТ 29322, согласованное для конкретного пользователя электрической сети при технологическом присоединении в качестве напряжения электропитания.
- **низкое напряжение:** Напряжение, номинальное среднеквадратическое значение которого не превышает 1кВ.
- **среднее напряжение:** Напряжение, номинальное среднеквадратическое значение которого превышает 1кВ, но не превышает 35кВ.
- **высокое напряжение:** Напряжение, номинальное среднеквадратическое значение которого превышает 35кВ, но не превышает 220кВ.
- **частота напряжения электропитания:** Частота повторения колебаний основной гармоники напряжения электропитания, измеряемая в течение установленного интервала времени.
- **кондуктивная электромагнитная помеха:** Электромагнитная помеха, распространяющаяся по проводникам электрической сети. В некоторых случаях электромагнитная помеха распространяется через обмотки трансформаторов и может действовать в электрических сетях с разными значениями напряжения. Кондуктивные электромагнитные помехи могут ухудшить качество функционирования устройств, электроустановок или систем, или вызвать их повреждение.
- **уровень электромагнитной совместимости, в системе электроснабжения:** Регламентированный уровень кондуктивной электромагнитной помехи, используемый в качестве опорного для координации между допустимым уровнем помех, вносимым техническими средствами пользователей электрических сетей, и уровнем помех, воспринимаемым техническими средствами, подключенными к электрической сети, без нарушения их нормального функционирования.

- **напряжение гармонической составляющей:** Среднеквадратическое значение синусоидального напряжения, частота которого является кратной основной частоте напряжения электропитания.
- **напряжение интергармонической составляющей:** Среднеквадратическое значение синусоидального напряжения, частота которого не является кратной основной частоте напряжения электропитания.
- **напряжение сигналов в электрической сети:** Напряжение сигналов, добавляемое к напряжению электропитания при передаче информации в распределительных электрических сетях и электроустановках потребителей электрической энергии.
- **быстрое изменение напряжения:** Быстрое изменение среднеквадратического напряжения между двумя последовательными уровнями установившегося напряжения;
- **опорное напряжение:** Значение напряжения, применяемое в качестве основы при установлении остаточного напряжения, пороговых значений напряжения и других характеристик провалов, прерываний напряжения и перенапряжений, выраженное в вольтах или процентах номинального напряжения.
- **прерывание напряжения:** Ситуация, при которой напряжение в точке передачи электрической энергии меньше 5% опорного напряжения.
- **импульсное напряжение:** Перенапряжение, представляющее собой одиночный импульс или колебательный процесс (обычно сильно демпфированный), длительностью до нескольких миллисекунд.
- **провал напряжения:** Временное уменьшение напряжения в конкретной точке электрической системы ниже установленного порогового значения.
- **длительность провала напряжения:** Интервал времени между моментом, когда напряжение в конкретной точке системы электроснабжения, падает ниже порогового значения начала провала напряжения, и моментом, когда напряжение возрастает выше порогового значения окончания провала напряжения.
- **пороговое значение окончания провала напряжения:** Среднеквадратическое значение напряжения в системе электроснабжения, установленное для определения окончания провала напряжения.
- **остаточное напряжение провала напряжения:** Минимальное среднеквадратическое значение напряжения, отмеченное в течение провала напряжения, выражают в процентах опорного напряжения.
- **пороговое значение начала провала напряжения:** Среднеквадратическое значение напряжения в системе электроснабжения, установленное для определения начала провала напряжения.

- **перенапряжение:** Временное возрастание напряжения в конкретной точке электрической системы выше установленного порогового значения.
- **длительность перенапряжения:** Интервал времени между моментом, когда напряжение в конкретной точке системы электроснабжения возрастает выше порогового значения начала перенапряжения, и моментом, когда напряжение падает ниже порогового значения окончания перенапряжения.
- **пороговое значение окончания перенапряжения:** Среднеквадратическое значение напряжения в системе электроснабжения, установленное для определения окончания перенапряжения.
- **пороговое значение начала перенапряжения:** Среднеквадратическое значение напряжения в системе электроснабжения, установленное для определения начала перенапряжения.
- **фликер:** Ощущение неустойчивости зрительного восприятия, вызванное световым источником, яркость или спектральный состав которого изменяются во времени.
- **среднеквадратическое значение:** Корень квадратный из среднеарифметического значения квадратов мгновенных значений величины, измеренных в течение установленного интервала времени и в установленной полосе частот.
- **усреднение по времени:** Усреднение нескольких последовательных значений конкретного показателя КЭ, измеренных на одинаковых интервалах времени, для получения значения показателя при большем интервале времени.
- **маркированные данные:** Термин, применяемый для обозначения результатов измерений показателей КЭ и результатов их усреднения на временных интервалах, в пределах которых имели место прерывания, провалы напряжения или перенапряжения.
- **качество электрической энергии (КЭ):** Степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей КЭ.
- **несимметрия напряжений:** Состояние трехфазной системы энергоснабжения переменного тока, в которой среднеквадратические значения основных составляющих междуфазных напряжений или углы сдвига фаз между основными составляющими междуфазных напряжений не равны между собой.

## 2.1.2 Показатели и нормы качества электрической энергии

Изменения характеристик напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети, относящихся к частоте, значениям, форме напряжения и симметрии напряжений в трехфазных

системах электроснабжения, подразделяют на две категории – продолжительные изменения характеристик напряжения и случайные события.

Продолжительные изменения напряжения характеристик напряжения электропитания представляют собой длительные отклонения характеристик напряжения от номинальных значений и обусловлены, в основном, изменениями нагрузки или влиянием нелинейных нагрузок.

Случайные события представляют собой внезапные и значительные изменения формы напряжения, приводящие к отклонению его параметров от номинальных. Данные изменения напряжения, как правило, вызываются непредсказуемыми событиями (например, повреждениями оборудования пользователя электрической сети) или внешними воздействиями (например, погодными условиями или действиями стороны, не являющимися пользователем электрической сети).

### **2.1.2.1 Продолжительные изменения характеристик напряжения**

К продолжительным изменениям характеристик напряжения относятся:

- отклонение частоты;
- медленные изменения напряжения;
- колебания напряжения и фликер;
- несинусоидальность напряжения;
- несимметрия напряжения в трехфазных системах.

#### **Отклонение частоты**

Показателем КЭ, относящимся к частоте, является отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения,  $\Delta f$ , Гц.

$$\Delta f = f_m - f_{ном}, \quad (2.1)$$

где  $f_m$  – значение основной частоты напряжения электропитания, Гц, измеренное в интервале времени 10 с.;

$f_{ном}$  – номинальное значение частоты напряжения электропитания, Гц.

Номинальное значение частоты напряжения электропитания в электрической сети равно 50 Гц.

Для указанного показателя КЭ установлены следующие нормы:

- отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать  $\pm 0,2$  Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и  $\pm 0,4$  Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю;



- отклонение частоты в изолированных системах электроснабжения с автономными генераторными установками, не подключенных к изолированным системам передачи электрической энергии, не должно превышать  $\pm 1$  Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и  $\pm 5$  Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю.

### Медленные изменения напряжения

Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин.) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети.

Показателями КЭ, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное  $\delta U_{(-)}$  и положительное  $\delta U_{(+)}$  отклонения напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального/согласованного значения, %:

$$\delta U_{(-)} = \left[ \frac{(U_0 - U_{m(-)})}{U_0} \right] \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

$$\delta U_{(+)} = \left[ \frac{(U_{m(+)} - U_0)}{U_0} \right] \cdot 100\%; \quad (2.3)$$

где  $\delta U_{(-)}$ ,  $\delta U_{(+)}$  – значения напряжения электропитания, меньшие  $U_0$  и большие  $U_0$  соответственно, усредненные в интервале времени 10 мин. в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.12;

$U_0$  – напряжение, равное стандартному номинальному напряжению  $U_{nom}$  или согласованному напряжению  $U_c$ .

В электрических сетях низкого напряжения стандартное номинальное напряжение электропитания  $U_{nom}$  равно 220 В (между фазным и нейтральным проводниками для однофазных и четырехпроводных трехфазных систем) и 380 В (между фазными проводниками для трех- и четырехпроводных трехфазных систем).

В электрических сетях среднего и высокого напряжений вместо значения номинального напряжения электропитания принимают согласованное напряжение электропитания  $U_c$ .

Для указанных выше показателей КЭ установлены следующие нормы: положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10% номинального или согласованного значения напряжения в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Допустимые значения положительного и отрицательного отклонений напряжения в точке общего присоединения должны быть установлены сетевой организацией с учетом необходимости выполнения норм настоящего стандарта в точках передачи электрической энергии.

В электрической сети потребителя должны быть обеспечены условия, при которых отклонения напряжения питания на зажимах электроприемников не превышают установленных для них допустимых значений при выполнении

требований настоящего стандарта к КЭ в точке передачи электрической энергии.

### **Колебания напряжения и фликер**

Колебания напряжения электропитания (как правило, продолжительностью менее 1 мин.), в том числе одиночные быстрые изменения напряжения, обуславливают возникновение фликера.

Показателями КЭ, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера  $P_{st}$ , измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера  $P_{lt}$ , измеренная в интервале времени 2 ч, в точке передачи электрической энергии.

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

- кратковременная доза фликера  $P_{st}$  не должна превышать значения 1,38,
- длительная доза фликера  $P_{lt}$  не должна превышать значения 1,0 , в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

### **Одиночные быстрые изменения напряжения**

Одиночные быстрые изменения напряжения вызываются, в основном, резкими изменениями нагрузки в электроустановках потребителей, переключениями в системе либо неисправностями и характеризуются быстрым переходом среднеквадратического значения напряжения от одного установившегося значения к другому.

Обычно одиночные быстрые изменения напряжения не превышают 5 % в электрических сетях низкого напряжения и 4 % – в электрических сетях среднего напряжения, но иногда изменения напряжения с малой продолжительностью до 10%  $U_{nom}$  и до 6%  $U_c$  соответственно могут происходить несколько раз в день.

Если напряжение во время изменения пересекает пороговое значение начала провала напряжения или перенапряжения, одиночное быстрое изменение напряжения классифицируют как провал напряжения или перенапряжение.

### **Несинусоидальность напряжения**

#### **Гармонические составляющие напряжения**

Гармонические составляющие напряжения обусловлены, как правило, нелинейными нагрузками пользователей электрических сетей, подключаемыми к электрическим сетям различного напряжения. Гармонические токи, протекающие в электрических сетях, создают падения напряжений на полных сопротивлениях электрических сетей. Гармонические токи, полные сопротивления электрических сетей и, следовательно, напряжения гармонических составляющих в точках передачи электрической энергии изменяются во времени.

Показателями КЭ, относящимися к гармоническим составляющим напряжения являются:

- значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка  $K_{U(n)}$  в процентах напряжения основной гармонической составляющей  $U_1$  в точке передачи электрической энергии;

- значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (отношения среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей)  $K_U$ , % в точке передачи электрической энергии.

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

а) значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_{U(n)}$ , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблицах 1—3, в течение 95 % времени интервала в одну неделю;

б) значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_{U(n)}$ , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблицах 1—3, увеличенных в 1,5 раза, в течение 100 % времени каждого периода в одну неделю;

в) значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$ , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблице 4, в течение 95 % времени интервала в одну неделю;

г) значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$ , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблице 5, в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Таблица 2.1 – Значения коэффициентов нечетных гармонических составляющих напряжения не кратных трем  $K_{U(n)}$  [см. 2.1.2.4, перечисления а), б)]

Порядок  
гармонической  
составляющей  $n$

Значения коэффициентов гармонических составляющих  
напряжения  $K_{U(n)}$ , %  $U_1$

Напряжение электрической сети, кВ

	0.38	6-25	35	110-220
5	6	4	3	1,5
7	5	3	2,5	1
11	3,5	2	2	1
13	3.0	2	1,5	0,7
17	2,0	1,5	1	0,5
19	1,5	1	1	0,4
23	1,5	1	1	0,4
25	1,5	1	1	0,4
>25	1,5	1	1	0,4

Таблица 2.2 – Значения коэффициентов нечетных гармонических составляющих напряжения, кратных трем  $K_{U(n)}$  [см. 2.1.2.4, перечисления а), б)]

Порядок гармонической составляющей $n$	Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ , % $U_1$			
	Напряжение электрической сети, кВ			
	0.38	6-25	35	110-220
3	5	3	3	1,5
9	1,5	1	1	0,4
15	0,3	0,3	0,3	0,2
21	0,2	0,2	0,2	0,2
>25	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблица 2.3 – Значения коэффициентов напряжения четных гармонических составляющих  $K_{U(n)}$  [см. 2.1.2.4, перечисления а), б)]

Порядок гармонической составляющей $n$	Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ , % $U_1$			
	Напряжение электрической сети, кВ			
	0.38	6-25	35	110-220

2	2	1,5	1	0,5
4	1	0,7	0,5	0,3
6	0,5	0,3	0,3	0,2
8	0,5	0,3	0,3	0,2
10	0,5	0,3	0,3	0,2
12	0,2	0,2	0,2	0,2
>12	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблица 2.4 – Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$  [см. 2.1.2.4, перечисления в)]

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$ , %

Напряжение электрической сети, кВ			
0.38	6-25	35	110-220
8,0	5,0	4,0	2,0

Таблица 2.5 – Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$  [см. 2.1.2.4, перечисления г)]

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$ , %

Напряжение электрической сети, кВ			
0.38	6-25	35	110-220
12,0	8,0	6,0	3,0

### Интергармонические составляющие напряжения

Уровень интергармонических составляющих напряжения электропитания увеличивается в связи с применением в электроустановках частотных преобразователей и другого управляющего оборудования.

Допустимые уровни интергармонических составляющих напряжения электропитания находятся на рассмотрении.

### Несимметрия напряжений в трехфазных системах

Несимметрия трехфазной системы напряжений обусловлена несимметричными нагрузками потребителей электрической энергии или несимметрией элементов электрической сети.

Показателями КЭ, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по

обратной последовательности  $K_{2U}$  и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$ .

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  и несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю;
- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  и несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

### **2.1.2.2 Случайные события**

К случайным событиям относятся:

- прерывание напряжения;
- провалы напряжения;
- перенапряжения;
- импульсные перенапряжения.

### **Прерывания напряжения**

Прерывания напряжения относят к создаваемым преднамеренно, если пользователь электрической сети информирован о предстоящем прерывании напряжения, и к случайным, вызываемым длительными или кратковременными неисправностями, обусловленными, в основном, внешними воздействиями, отказами оборудования или влиянием электромагнитных помех.

Создаваемые преднамеренно прерывания напряжения, как правило, обусловлены проведением запланированных работ в электрических сетях.

Случайные прерывания напряжения подразделяют на длительные (длительность более 3 мин) и кратковременные (длительность не более 3 мин).

Ежегодная частота длительных прерываний напряжения (длительностью более 3 мин) в значительной степени зависит от особенностей системы электроснабжения (в первую очередь, применения кабельных или воздушных линий) и климатических условий. Кратковременные прерывания напряжения наиболее вероятны при их длительности менее нескольких секунд.

В трехфазных системах электроснабжения к прерываниям напряжения относят ситуацию, при которой напряжение меньше 5 % опорного напряжения во всех фазах. Если напряжение меньше 5 % опорного напряжения не во всех фазах, ситуацию рассматривают, как провал напряжения.

Пороговое значение начала прерывания считают равным 5 % опорного напряжения.

## **Провалы напряжения.**

Провалы напряжения обычно происходят из-за неисправностей в электрических сетях или в электроустановках потребителей, а также при подключении мощной нагрузки.

Провал напряжения, как правило, связан с возникновением и окончанием короткого замыкания или иного резкого возрастания тока в системе или электроустановке, подключенной к электрической сети. В соответствии с требованиями настоящего стандарта провал напряжения рассматривается как электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью. Длительность провала напряжения может быть до 1 мин.

В трехфазных системах электроснабжения за начало провала напряжения принимают момент, когда напряжение хотя бы в одной из фаз падает ниже порогового значения начала провала напряжения, за окончание провала напряжения принимают момент, когда напряжение во всех фазах возрастает выше порогового значения окончания провала напряжения.

## **Перенапряжения**

Перенапряжения, как правило, вызываются переключениями и отключениями нагрузки. Перенапряжения могут возникать между фазными проводниками или между фазными и защитным проводниками. В зависимости от устройства заземления короткие замыкания на землю могут также приводить к возникновению перенапряжения между фазными и нейтральным проводниками. В соответствии с требованиями настоящего стандарта перенапряжение рассматривается как электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью.

Длительность перенапряжения может быть до 1 мин.

Оба явления — провалы и перенапряжения — непредсказуемы и в значительной степени случайны. Частота возникновения их зависит от типа системы электроснабжения, точки наблюдения, времени года.

## **Импульсные напряжения**

Импульсные напряжения в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети вызываются, в основном, молниевыми разрядами или процессами коммутации в электрической сети или электроустановке потребителя электрической энергии. Время нарастания импульсных напряжений может изменяться в широких пределах (от значений менее 1 микросекунды до нескольких миллисекунд).

Импульсные напряжения, вызванные молниевыми разрядами, в основном, имеют большие амплитуды, но меньшие значения энергии, чем импульсные напряжения, вызванные коммутационными процессами, характеризующимися, как правило, большей длительностью.

На основании выше изложенного, можно сделать следующий вывод, что качество электрической энергии определяется двумя основными факторами:

- системой электропитания переменным током;
- характеристиками электроприемников.

### **2.2.1 Система электропитания переменным током**

С позиции электромагнитной совместимости с системой электропитания переменным током предъявляются следующие требования:

- в системе электроснабжения собственных нужд подстанции должны быть выделены следующие типы нагрузок, чувствительных к электромагнитным помехам: компьютеры, АСУ ТП и устройства телемеханики, системы связи;
- электропитание указанных видов нагрузки должно быть выполнено посредством отдельных распределительных линий (фидеров);
- для электропитания АСУ ТП, телемеханики и других ответственных потребителей необходимо использовать инверторы, источники бесперебойного питания с двойным преобразованием и фильтрами для подавления высокочастотных и импульсных помех;
- для защиты электроприемников системы электроснабжения сети 0,4кВ от импульсных помех могут быть установлены устройства защиты от импульсных перенапряжений в соответствии с ГОСТ Р 50571.18;
- система заземления электрических сетей переменного тока 0,4кВ вторичного оборудования и устройств связи должна удовлетворять требованиям ПУЭ для TN-S системы, т.е. не допускается применение объединённого защитного и нулевого рабочего PEN- проводника;
- во избежание воздействия, вызванного магнитными полями токов силовых кабелей сети переменного тока, необходимо их прокладывать на расстоянии не менее 100мм от контрольных кабелей и проводников;
- для обеспечения ЭМС системы электроснабжения 0,4кВ необходимо выполнение требований, предъявляемых к качеству электроэнергии по ГОСТ 32114-2013 в соответствии с помехоустойчивостью вторичного оборудования.

В таблице 2.6 приведены показатели качества электроэнергии, основные причины, приводящие к их ухудшению и рекомендуемые мероприятия по их улучшению.

Таблица 2.6 – Мероприятия по улучшению качества электрической энергии



ПКЭ	Основная причина ухудшения	Рекомендуемое мероприятие
Установившееся отклонение напряжения	Неправильный выбор регулировочного ответвления трансформатора	1. Регулирование напряжения в центре питания или у потребителя путём переключения на соответствующее ответвление трансформатора. 2. Снижение потерь напряжения в элементах сети.
Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, коэффициент n-ной гармонической составляющей	Потребители, представляющие собой нелинейную нагрузку	1. Выделение нелинейных нагрузок на отдельную систему шин. 2. Использование фильтровых устройств (узкополосных резонансных фильтров, фильтрокомпенсирующих и фильтросимметрирующих устройств). 3. Применение специального оборудования («ненасыщающихся» трансформаторов, многофазных преобразователей с улучшенными энергетическими показателями).
Колебания напряжения	Резкие изменения мощности нагрузки (в основном реактивной)	1. Применение быстродействующих источников реактивной мощности (ИРМ). 2. Разделения нагрузки (с помощью сдвоенных реакторов, трансформаторов с расщеплённой обмоткой и т.д.).

Продолжение таблицы 2.6

Коэффициент несимметрии по обратной или нулевой последовательности	Использование однофазных нагрузок большой мощности	1. Симметричное распределение однофазных нагрузок между фазами. 2. Применение симметрирующих устройств или схем симметрирования.
--	--	---

Провалы или прерывания напряжения	Аварийные ситуации, ошибки персонала и ложные срабатывания защит, отключения из-за перегрузок	Применение для ответственных потребителей систем гарантированного бесперебойного электропитания на базе ИБП и дизельных электростанций.
Импульсные помехи высокого уровня, перенапряжения	Коммутационные процессы, грозовая деятельность	Организация на объекте многоступенчатой защиты от перенапряжений.

Параметры помехоустойчивости вторичного оборудования, связанные с качеством питания переменным током, приведены в таблице 2.7

Таблица 2.7 – Параметры помехоустойчивости вторичного оборудования, связанные с качеством питания переменным током

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
1	Провалы напряжения Прерывания напряжения	МЭК 61000-4-29	30% (50 периодов) (1 период) 100% (5 периодов)	60%	Только для входных портов.
2	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока. На устойчивость к колебаниям напряжения На устойчивость к динамическим изменениям напряжения	ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13). ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000). ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК	В соответствии с рекомендациями настоящих МУ.		Для всех портов питания переменного тока.

Продолжение таблицы 2.7

	электропитания	61000-4-11-94).			
3	На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока	ГОСТ Р 51317.4..28 - 2000 (МЭК 61000 -4-28-			

		2000).				
4	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6- 96).	Не ниже 3 ст. жест.	(10В)		Для всех портов питания переменного тока.
5	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4 ст. жест. (для однократных ) 3 ст. жест. (для повторяющихся)	4кВ (провод - земля), 2кВ (провод - провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод - провод)		Для всех портов питания переменного тока.
6	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р51317.4- 4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест	4кВ		Для всех портов питания переменного тока.
7	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96).	Провод - земля 4 ст. жест. Провод -провод 3 ст. жест.	4кВ 2кВ		Для всех портов питания переменного тока.

## 2.2.2 Характеристики электроприемников

Электроприемники переменного тока как было отмечено во введении, делятся на две группы: нелинейные и линейные электроприемники.

К линейным электроприемникам относятся потребители, у которых вольт-амперная характеристики имеет линейную зависимость.

К нелинейным электроприемникам относятся потребители, у которых вольт-амперная характеристика нелинейна или электроприемники, работающие в импульсном, кратковременном режимах. Например, установки точечной сварки.

Следовательно, при работе стенда по оценке и измерению качества электрической энергии необходимо предусмотреть линейную и нелинейную нагрузку. Измерительные приборы стенда должны фиксировать гармонический состав тока, отклонение напряжения и частоты, несимметрию напряжения, колебания напряжения, фликер и перенапряжения.

Такие параметры, как медленное изменение напряжения, провалы и прерывания напряжения и импульсные перенапряжения, реализовать на стенде весьма затруднительно, так как медленное изменение напряжения протекает в течение длительного времени и превышает время, отведенное на лабораторную работу. Провалы и прерывания напряжения возникают в системах электроснабжения, получающих электроэнергию от нескольких источников.

Импульсные перенапряжения, как правило, связаны с молниевыми разрядами или КЗ.

### **3 Компьютерное моделирование трехфазной сети и разработка стенда для оценки и измерения качества электрической энергии в сетях до 1000В**

Для разработки стенда по оценке и измерению основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В необходимо выполнить компьютерное моделирование. На основании компьютерного моделирования будут определены параметры и схема стенда, получены предварительные данные по показателям качества электрической энергии.

При моделировании трехфазных сетей необходимо рассмотреть влияние на качество электрической энергии следующих видов нагрузки: линейная, равномерная, симметричная нагрузка; линейная, неравномерная, симметричная нагрузка; импульсная, равномерная, симметричная нагрузка; двигательная нагрузка. В качестве линейной, равномерной, симметричной нагрузки были приняты лампы накаливания и электрические конденсаторы. Импульсная, равномерная, симметричная нагрузка представлена в виде светодиодных ламп; двигательная нагрузка в видах “преобразователь – двигатель” и асинхронный двигатель (АД). Линейная, неравномерная, симметричная нагрузка моделировалась на базе конденсаторов. При моделировании изучались перенапряжения при коммутации конденсаторных установок подключенных к трансформаторам. Моделирование необходимо выполнить с изолированным и глухозаземленным режимом нейтрали сети.

Основные параметры качества электрической энергии рассчитывались по нижеследующим формулам.

**Отклонение напряжения** характеризуется показателем установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$ . Нормально допустимые и предельно допустимые значения  $\delta U_y$  на выводах приемников электрической энергии равны соответственно  $\pm 5$  и  $\pm 10$  % от номинального напряжения электрической сети.

Действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты  $U_{1(1)i}$  определяется по формуле:

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3} (U_{ABi} + U_{BCi} + U_{CAi}), \quad (3.1)$$

где  $U_{ABi}, U_{BCi}, U_{CAi}$  - действующие значения междуфазных напряжений основной частоты, В.

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле:

$$\delta U_y = \frac{U_{1(1)i} - U_{\text{ном.мф}}}{U_{\text{ном.мф}}} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

где  $U_{\text{ном.мф}}$  — номинальное междуфазное (фазное) напряжение, В.

**Колебания напряжения** характеризуются размахом изменения напряжения  $\delta U_t$ ;

Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах определяется по формуле:

$$\delta U_t = \frac{|U_{\max} - U_{\min}|}{U_{\text{ном.ампл}}} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

где  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$  — значения следующих один за другим экстремумов или экстремума и горизонтального участка огибающей среднеквадратичных значений напряжения основной частоты, определенных на каждом полупериоде основной частоты, В.

$U_{\text{ном.ампл}}$  — номинальное амплитудное фазное напряжение, В.

Предельно допустимое значение суммы  $\delta U_y$  и  $\delta U_t$  в точках присоединения к электрическим сетям напряжением 0,38 кВ равно  $\pm 10\%$  от номинального напряжения.

**Несинусоидальность напряжения** характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$ ;
- коэффициентом  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$ .

В таблице 3.1 приведены значения нормально допустимых и предельно допустимых значений коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения.

Таблица 3.1 — Значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения

Нормально допустимое значение при $U_{\text{ном.мф}}, \text{ кВ}$				Предельно допустимое значение при $U_{\text{ном.мф}}, \text{ кВ}$			
0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
8,0%	5,0%	4,0%	2,0%	12,0%	8,0%	6,0%	3,0%

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$  в процентах определяется по формуле:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum U_n^2}}{U_{\text{ном}}}, \quad (3.4)$$

где  $U_{ном}$  – действующее значение фазного напряжения 1-ой гармоники (основной частоты);

$\sum U_n$  – сумма действующих фазных напряжений высших гармоник, кратных по частоте основной гармонике.

В таблице 3.2 приведены значения нормально допустимого коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)ном}$ .

Таблица 3.2 – Нормально допустимое значение коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения

Нечетные гармоники, не кратные 3, при $U_{ном}$ , кВ		Нечетные гармоники, кратные 3**, при $U_{ном}$ , кВ		Четные гармоники при $U_{ном}$ , кВ	
$n^*$	0,38	$n^*$	0,38	$n^*$	0,38
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3,0	21	0,2	8	0,5
17	2,0	>25	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>25	0,2
25	1,5				
>25	$0,2+1,3 \times 25/n$				

\* $n$  – номер гармонической составляющей напряжения.

\*\* Нормально допустимые значения, приведенные для  $n$ , равных 3 и 9, относятся к однофазным электрическим сетям. В трехфазных трехпроводных электрических сетях эти значения принимают вдвое меньшими приведенных в таблице

Коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$  определяется в процентах по формуле:

$$K_{U(n)} = \frac{U_n}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

где  $U_n$  – действующие фазные напряжения высших гармоник, кратных по частоте основной гармонике.

Предельно допустимое значение коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)пред}$  вычисляют по формуле:

$$K_{U(n)пред} = 1,5 K_{U(n)ном}, \quad (3.6)$$

где  $K_{U(n)ном}$  – нормально допустимое значение коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения.

**Несимметрия напряжения** характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$ ;
- коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$ .

Действующее значение напряжения по обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  определяется по формуле:

$$U_{2(1)i} = 0,62(U_{нб(1)i} - U_{нм(1)i}), \quad (3.7)$$

где  $U_{нб(1)i}, U_{нм(1)i}$  – наибольшее и наименьшее действующие значения из трех междуфазных напряжений основной частоты, В.

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  определяется по формуле:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)i}}{U_{ном.мф}} \cdot 100\%, \quad (3.8)$$

где  $U_{ном.мф}$  – номинальное значение междуфазного напряжения, В.

Действующее значение напряжения по нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)i}$  определяется по формуле:

$$U_{0(1)i} = 0,62(U_{нб.ф(1)i} - U_{нм.ф(1)i}), \quad (3.9)$$

где  $U_{нб.ф(1)i}, U_{нм.ф(1)i}$  – наибольшее и наименьшее из трех действующих значений фазных напряжений основной частоты, В.

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  определяется по формуле:

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)i}}{U_{ном.ф}} \cdot 100\%, \quad (3.10)$$

где  $U_{ном.ф}$  – номинальное значение фазного напряжения, В.

**Отклонение частоты** напряжения переменного тока в электрических сетях характеризуется показателем отклонения частоты, для которого установлены следующие нормы:

- нормально допустимое и предельно допустимое значения отклонения частоты равны  $\pm 0,2$  и  $\pm 0,4$  Гц соответственно.



Значение отклонения частоты  $\Delta f$  определяется по формуле:

$$\Delta f = f_u - f_{ном}, \quad (3.11)$$

где  $f_{ном}$  – номинальное значение частоты, Гц;  
 $f_u$  – измеренное значение частоты, Гц.  
 Ниже приведены результаты моделирования.

### 3.1 Результаты моделирования линейной, равномерной, симметричной нагрузки с изолированным режимом нейтрали сети

На рисунке 3.1 представлена электрическая схема линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания, выполненная в среде Multisim.

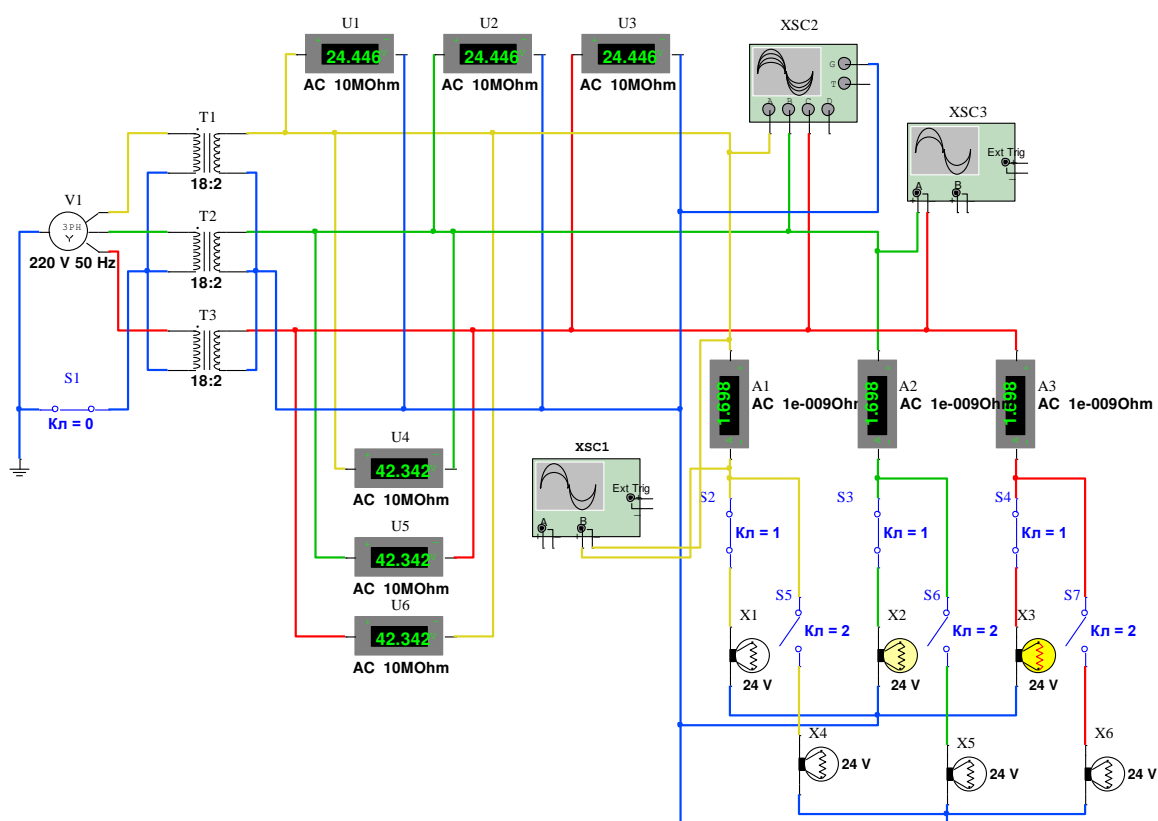


Рисунок 3.1 – Электрическая схема линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.2, 3.3, 3.4, 3.5.

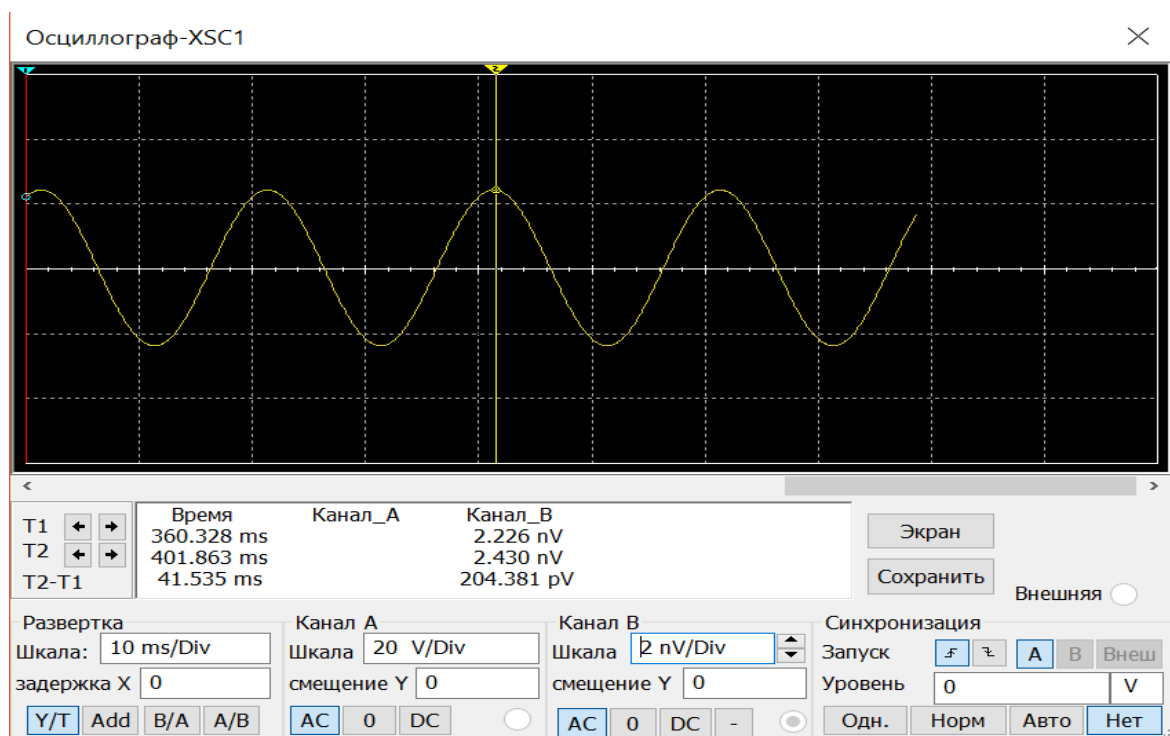


Рисунок 3.2 – Осциллограмма тока линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания

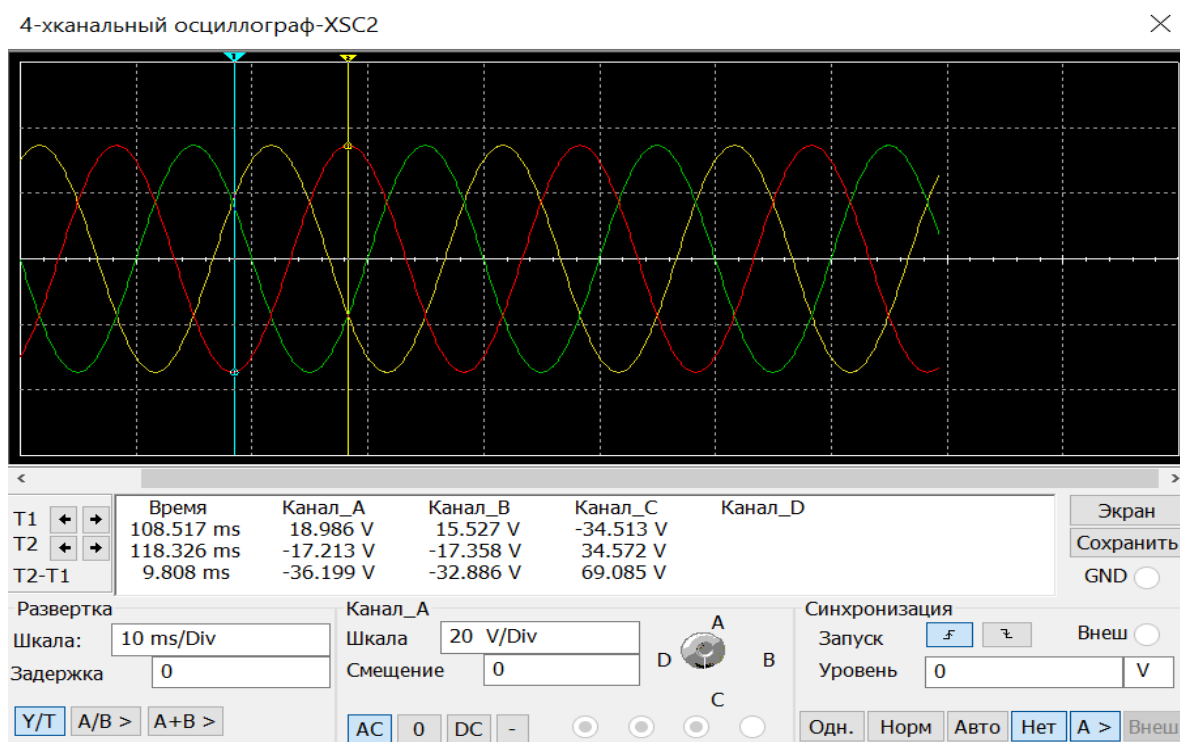


Рисунок 3.3 – Осциллограмма фазных напряжений линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания

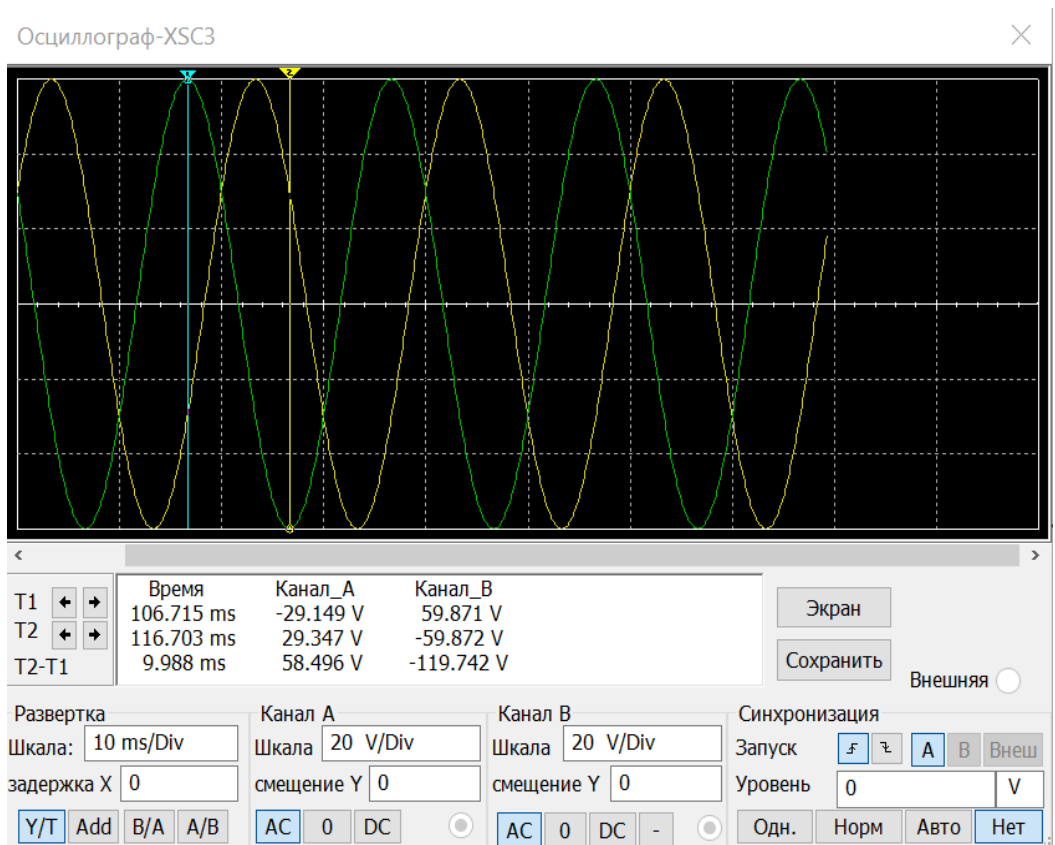


Рисунок 3.4 – Осциллограмма междуфазных напряжений АВ и ВС линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания

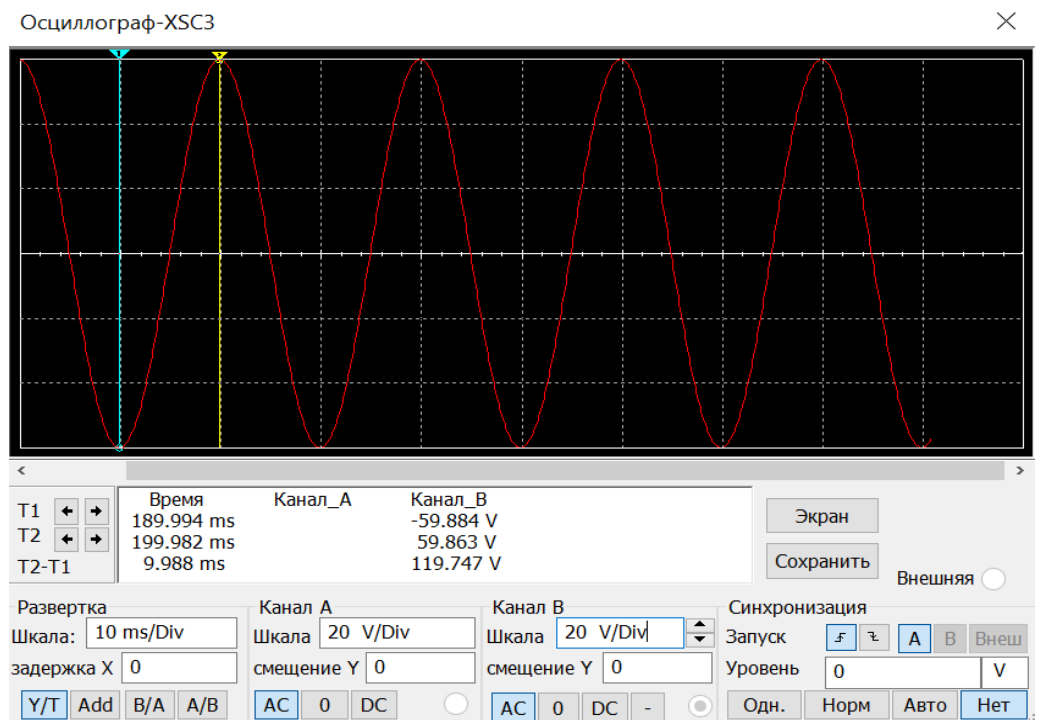


Рисунок 3.5 – Осциллограмма междуфазного напряжения АС линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания

Анализ данных осциллограмм показывает, что при линейной, равномерной, симметричной нагрузке высшие гармоники отсутствуют, наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии представлен ниже.

### **Отклонение напряжения**

Действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты  $U_{1(1)i}$  определяется по формуле (3.1):

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3}(42 + 42 + 42) = 42 \text{ В},$$

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле (3.2):

$$\delta U_y = \frac{42-42}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Колебания напряжения**

Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах определяется по формуле (3.3):

$$\delta U_t = \frac{|33 - 33|}{33} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Несимметрия напряжения**

Действующее значение напряжения по обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  определяется по формуле (3.7):

$$U_{2(1)i} = 0,62(42 - 42) = 0 \text{ В}.$$

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  в процентах определяется по формуле (3.8):

$$K_{2U} = \frac{0}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

Действующее значение напряжения по нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)i}$  определяется по формуле (3.9):

$$U_{0(1)i} = 0,62(24 - 24) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в процентах определяется по формуле (3.10):

$$K_{0U} = \frac{0}{24} \cdot 100\% = 0 \%$$

### Отклонение частоты

Значение отклонения частоты  $\Delta f$  определяется по формуле (3.11):

$$\Delta f = 50 - 50 = 0 \text{ Гц.}$$

В таблице 3.3 приведены сводные данные о качестве электроэнергии на линейной, равномерной, симметричной нагрузке на базе ламп накаливания.

Таблица 3.3 – Данные о качестве электроэнергии

$U_{\text{ном.мф}} = 42 \text{ В}$	$U_{\text{ном.фаз}} = 24 \text{ В}$	$f_{\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$	
Показатели качества	Нормально	Предельно	Измеренное
электроэнергии	допустимое значение	допустимое значение	значение
$\delta U_y$	5%	10%	0
$\delta U_t$	-	10%	0
$K_{2U}$	2%	4%	0
$K_{0U}$	2%	4%	0
$\Delta f$	0,2Гц	0,4Гц	0

Анализ таблицы 3.3 показывает, что в сетях с изолированным режимом нейтрали при линейной, равномерной, симметричной нагрузке качество электроэнергии соответствует нормам.

На рисунке 3.6 представлена электрическая схема линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов, выполненная в среде Multisim.

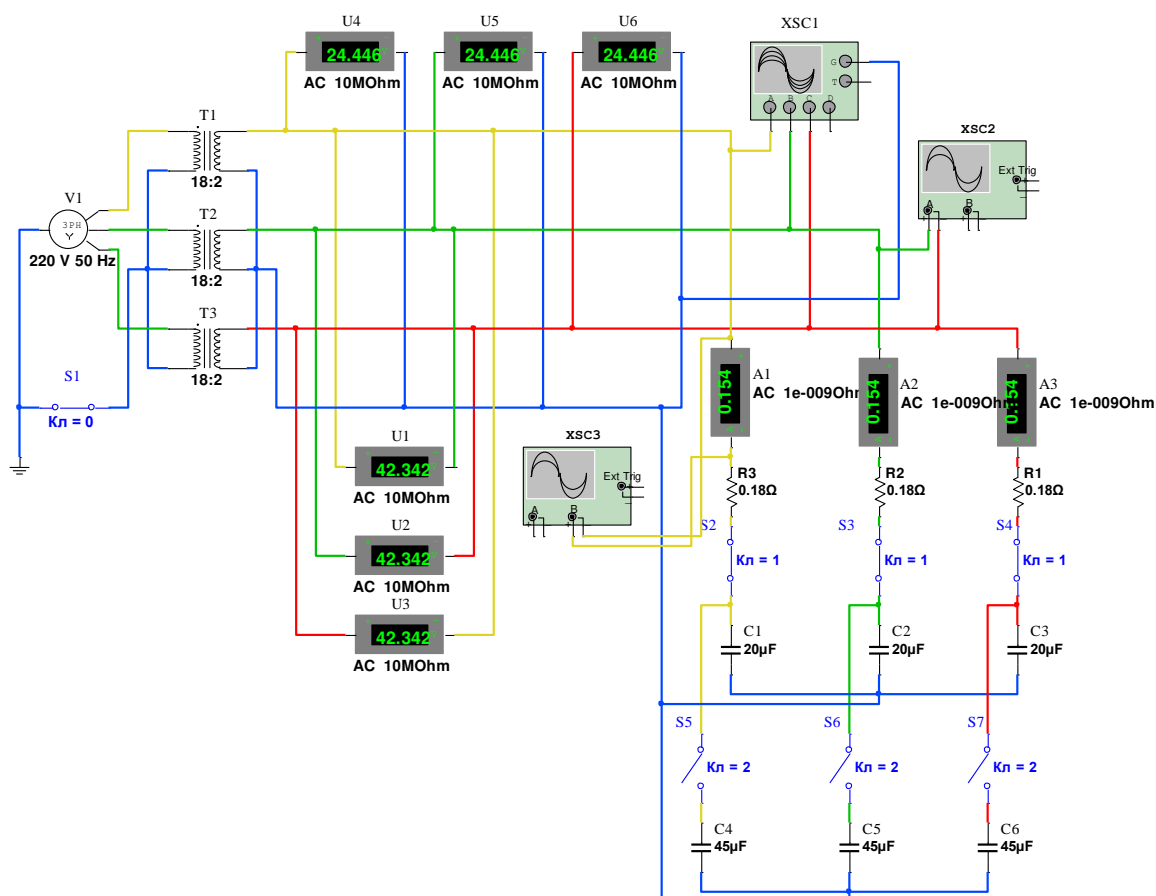


Рисунок 3.6 – Электрическая схема линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.7, 3.8, 3.9, 3.10

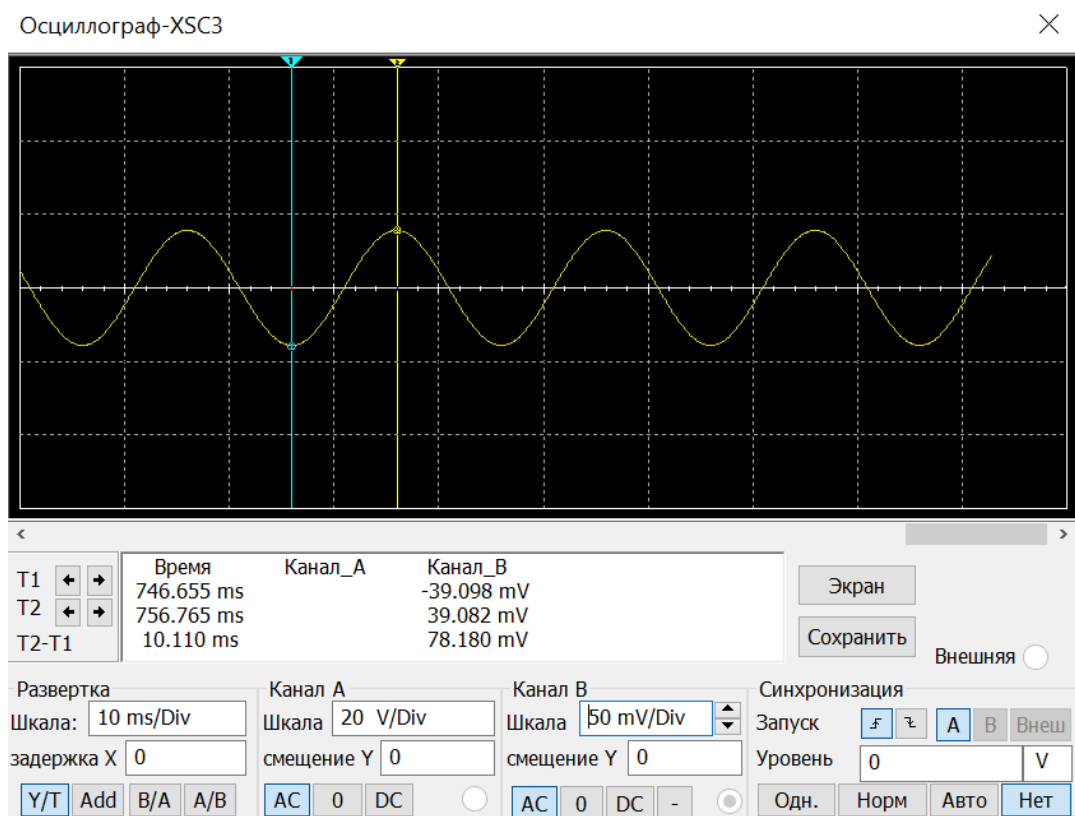


Рисунок 3.7 – Осциллограмма тока линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

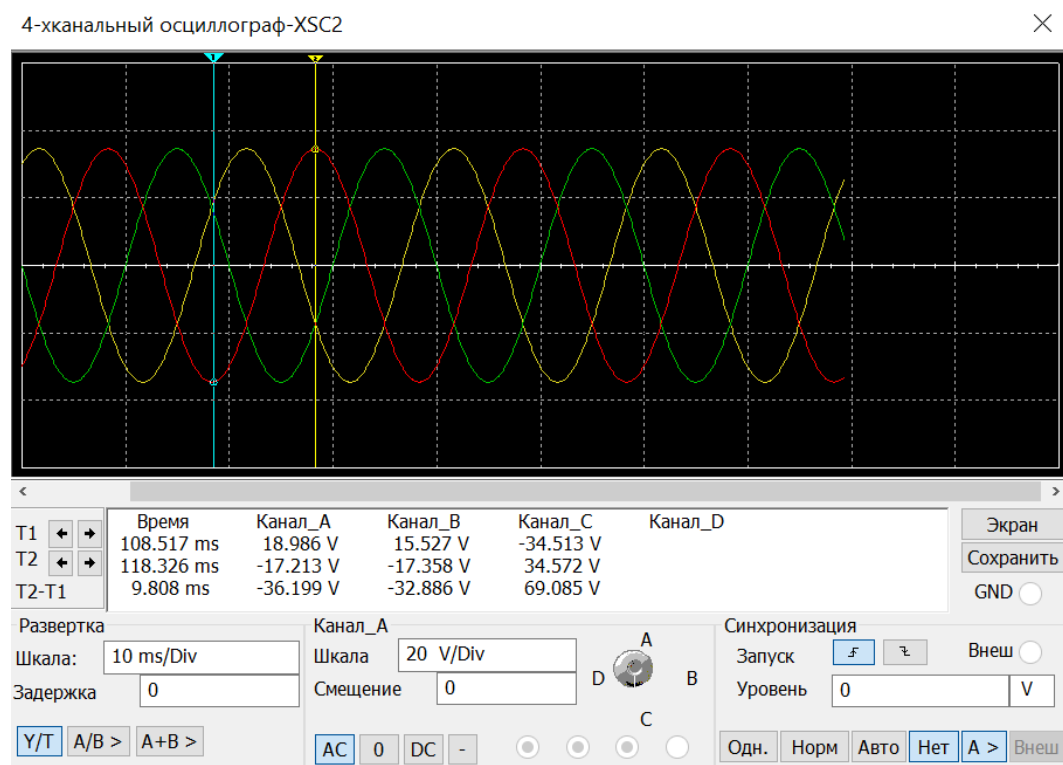


Рисунок 3.8 – Осциллограмма фазных напряжений линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

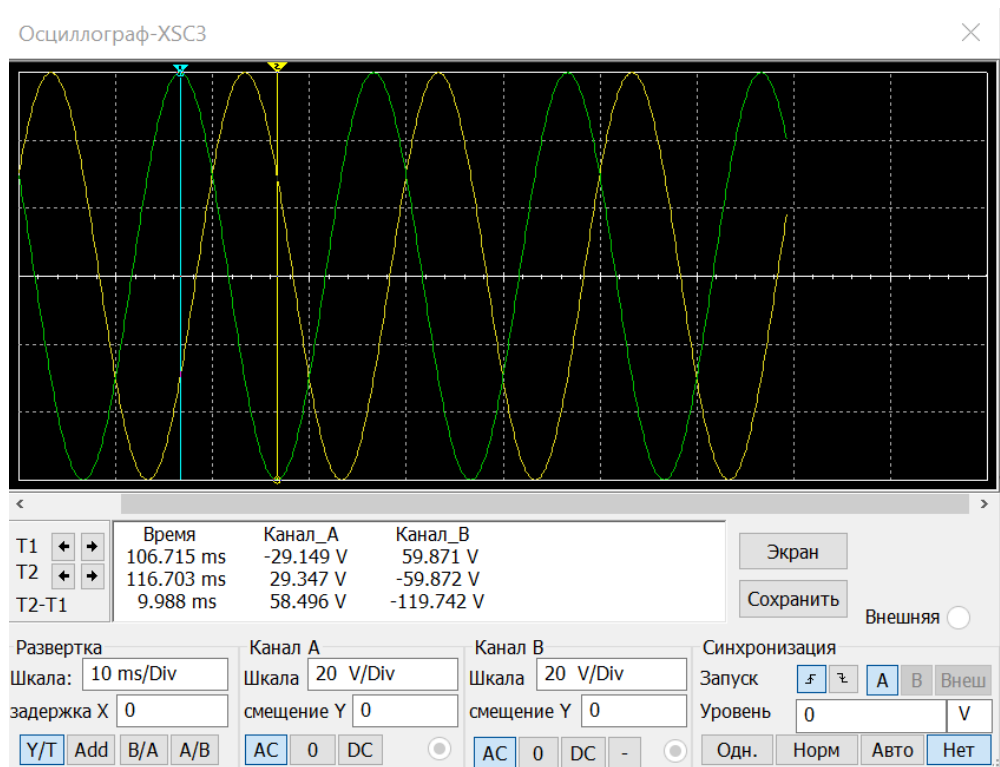


Рисунок 3.9 – Осциллограмма междуфазных напряжений АВ и ВС линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

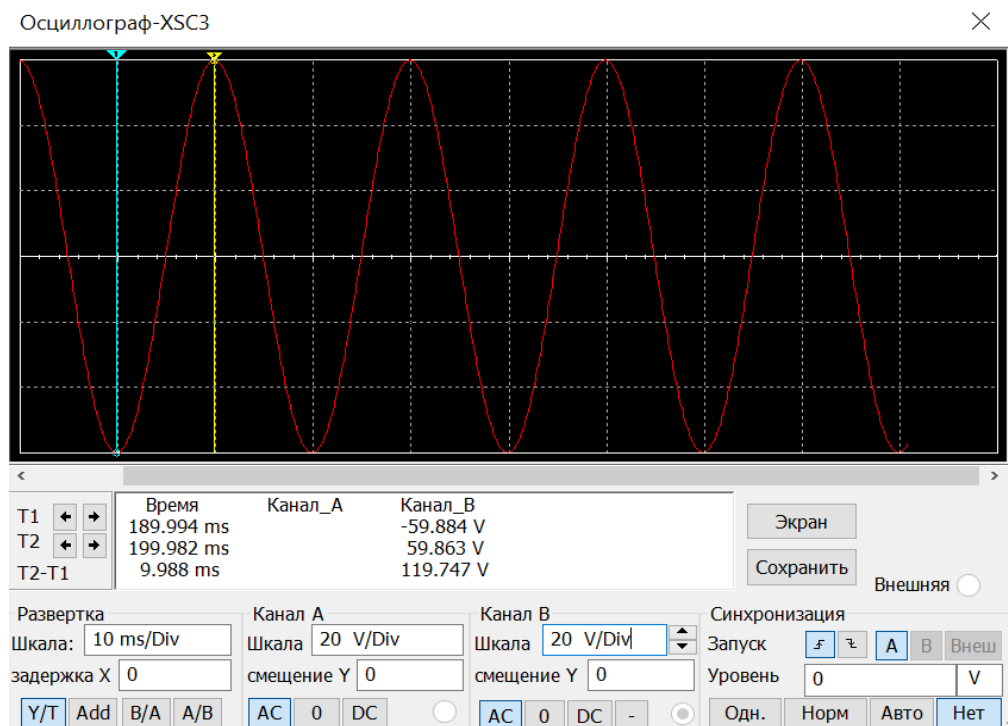


Рисунок 3.10 – Осциллограмма междуфазного напряжения АС линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов



Анализ данных осциллограмм показывает, что при линейной, равномерной, симметричной нагрузке высшие гармоники отсутствуют, наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии представлен ниже.

### **Отклонение напряжения**

Действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты  $U_{1(1)i}$  определяется по формуле (3.1):

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3}(42 + 42 + 42) = 42 \text{ В.}$$

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле (3.2):

$$\delta U_y = \frac{42-42}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Колебания напряжения**

Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах определяется по формуле (3.3):

$$\delta U_t = \frac{|33 - 33|}{33} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Несимметрия напряжения**

Действующее значение напряжения по обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  определяется по формуле (3.7):

$$U_{2(1)i} = 0,62(42 - 42) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  в процентах определяется по формуле (3.8):

$$K_{2U} = \frac{0}{42} \cdot 100\% = 0 \%.$$

Действующее значение напряжения по нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)i}$  определяется по формуле (3.9):

$$U_{0(1)i} = 0,62(24 - 24) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в процентах определяется по формуле (3.10):

$$K_{0U} = \frac{0}{24} \cdot 100\% = 0 \%$$

### Отклонение частоты

Значение отклонения частоты  $\Delta f$  определяется по формуле (3.11):

$$\Delta f = 50 - 50 = 0 \text{ Гц.}$$

В таблице 3.4 приведены сводные данные о качестве электроэнергии на линейной, равномерной, симметричной нагрузке на базе электрических конденсаторов.

Таблица 3.4 – Данные о качестве электроэнергии

$U_{\text{ном.мф}} = 42 \text{ В}$	$U_{\text{ном.фаз}} = 24 \text{ В}$	$f_{\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$	
Показатели качества электроэнергии	Нормально допустимое значение	Предельно допустимое значение	Измеренное значение
$\delta U_y$	5%	10%	0
$\delta U_t$	-	10%	0
$K_{2U}$	2%	4%	0
$K_{0U}$	2%	4%	0
$\Delta f$	0,2Гц	0,4Гц	0

Анализ таблицы 3.4 показывает, что в сетях с изолированным режимом нейтрали при линейной, равномерной, симметричной нагрузке качество электроэнергии соответствует нормам.

Сравнивая результаты моделирования линейных, равномерных, симметричных нагрузок на основе ламп накаливания и на основе конденсаторов, в сети с изолированным режимом нейтрали, можно сделать вывод, что характер линейной, равномерной, симметричной нагрузки не оказывает влияния на показатели качества электрической энергии, при условии, что нагрузка равномерная и симметричная.

### 3.2 Результаты моделирования линейной, равномерной, симметричной нагрузки с глухозаземленным режимом нейтрали сети

На рисунке 3.11 представлена электрическая схема линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания, выполненная в среде Multisim.

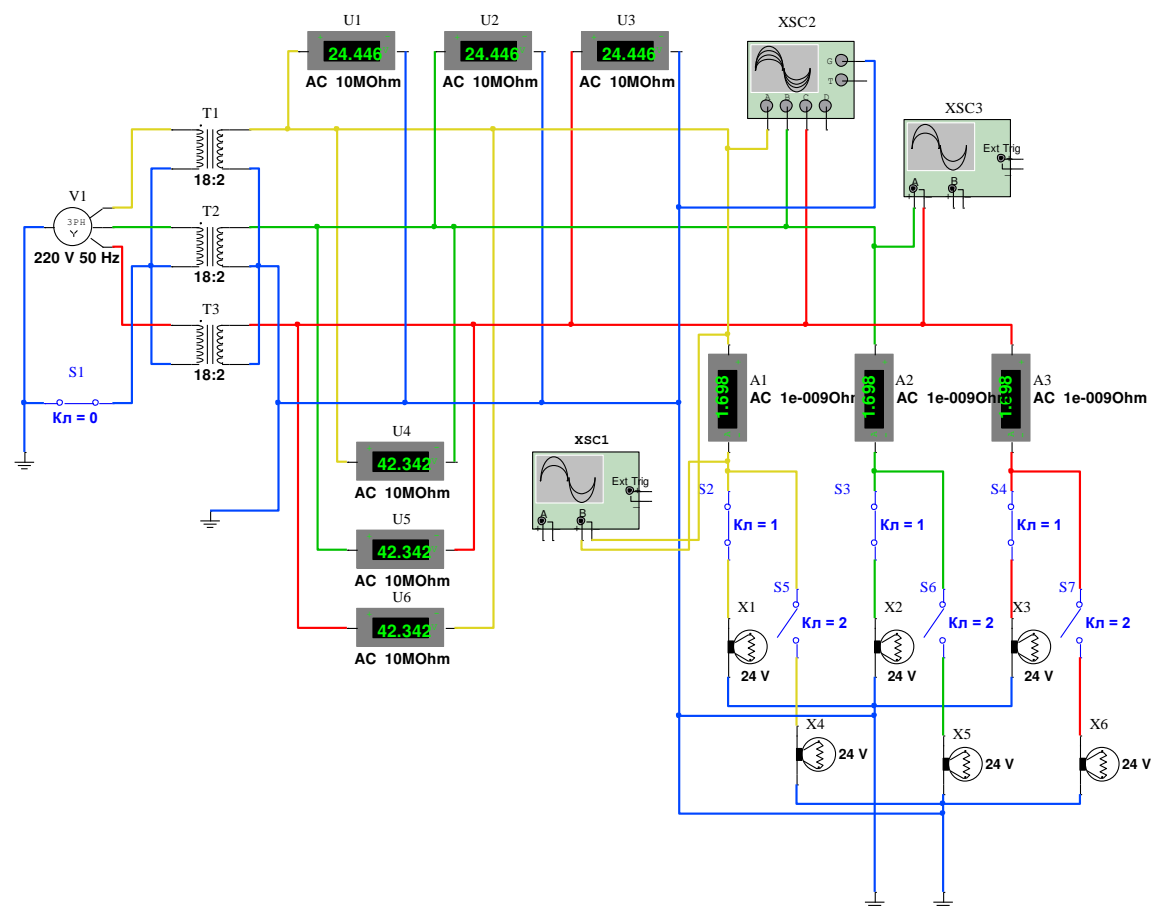


Рисунок 3.11 – Электрическая схема линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.12, 3.13, 3.14, 3.15

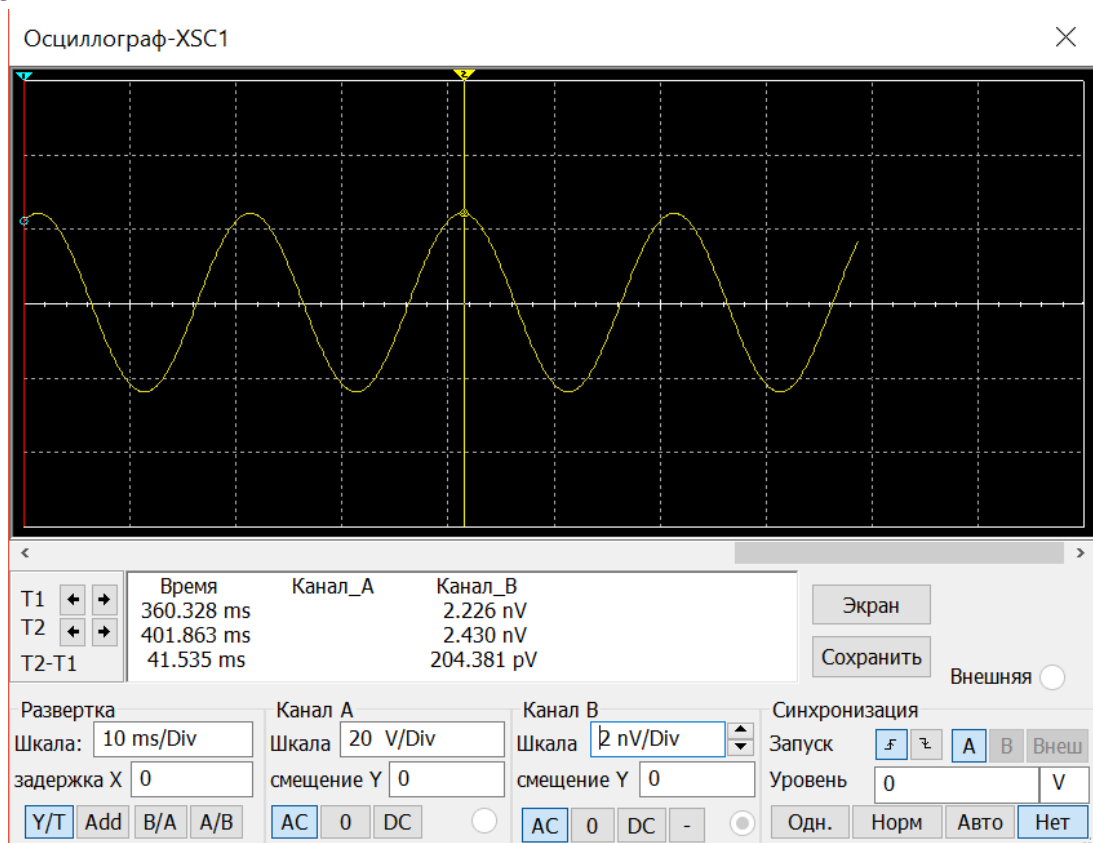


Рисунок 3.12 – Осциллограмма тока линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания

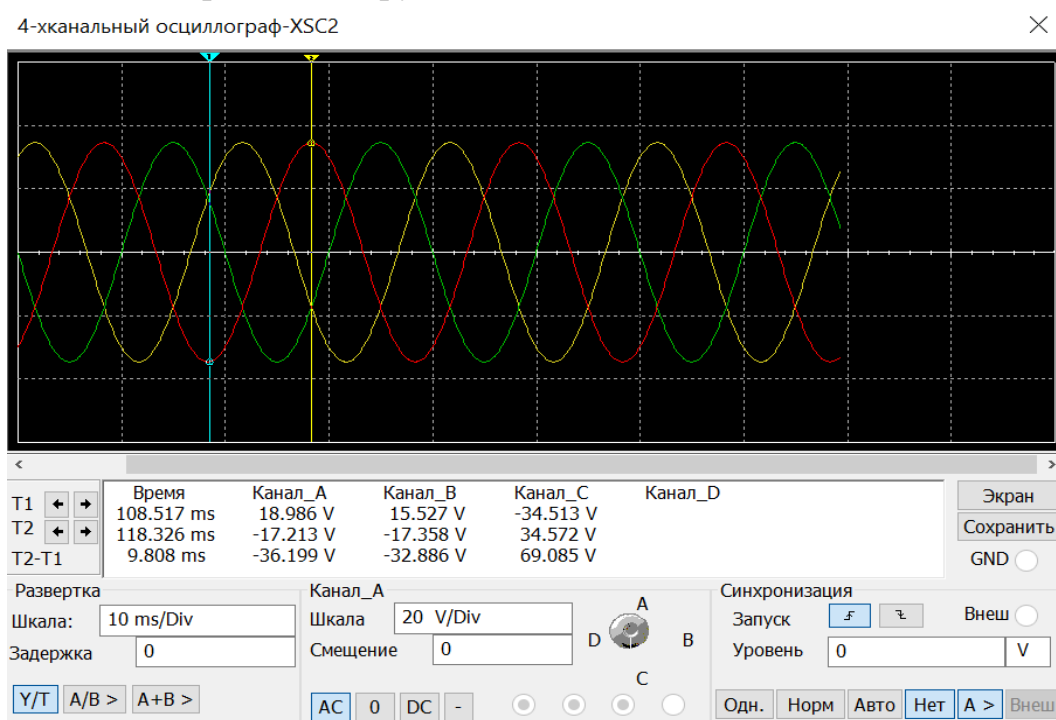


Рисунок 3.13 – Осциллограмма фазных напряжений линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания

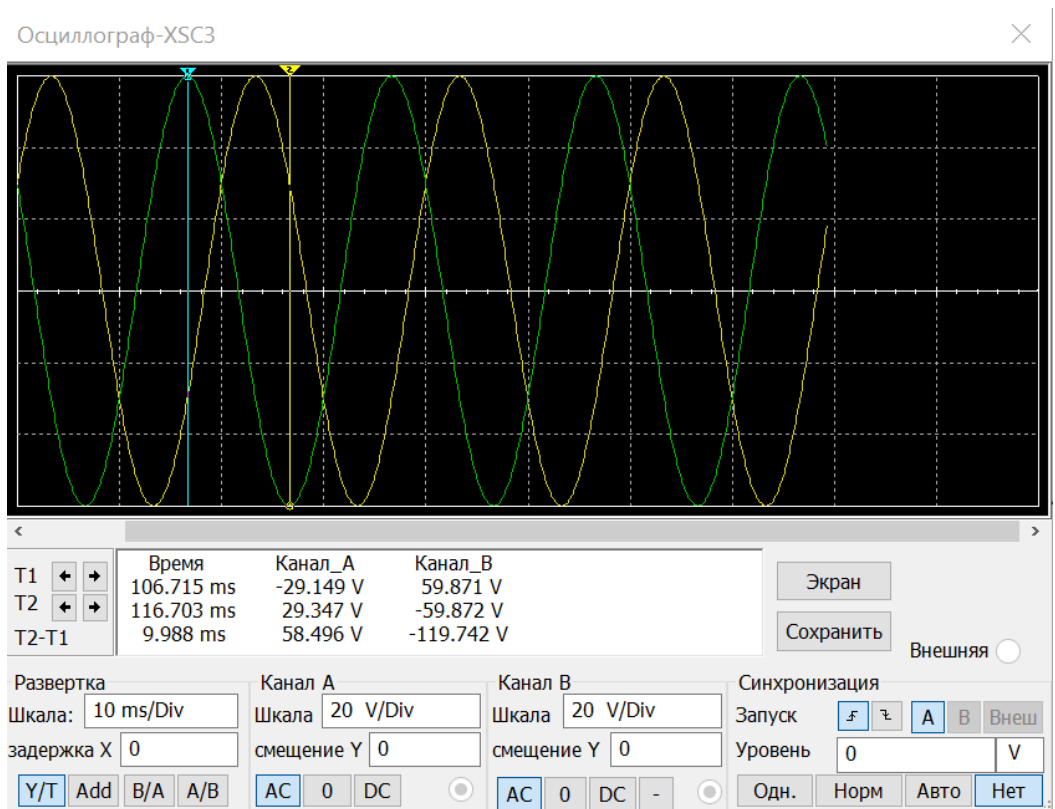


Рисунок 3.14 – Осциллограмма междофазных напряжений АВ и ВС линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания

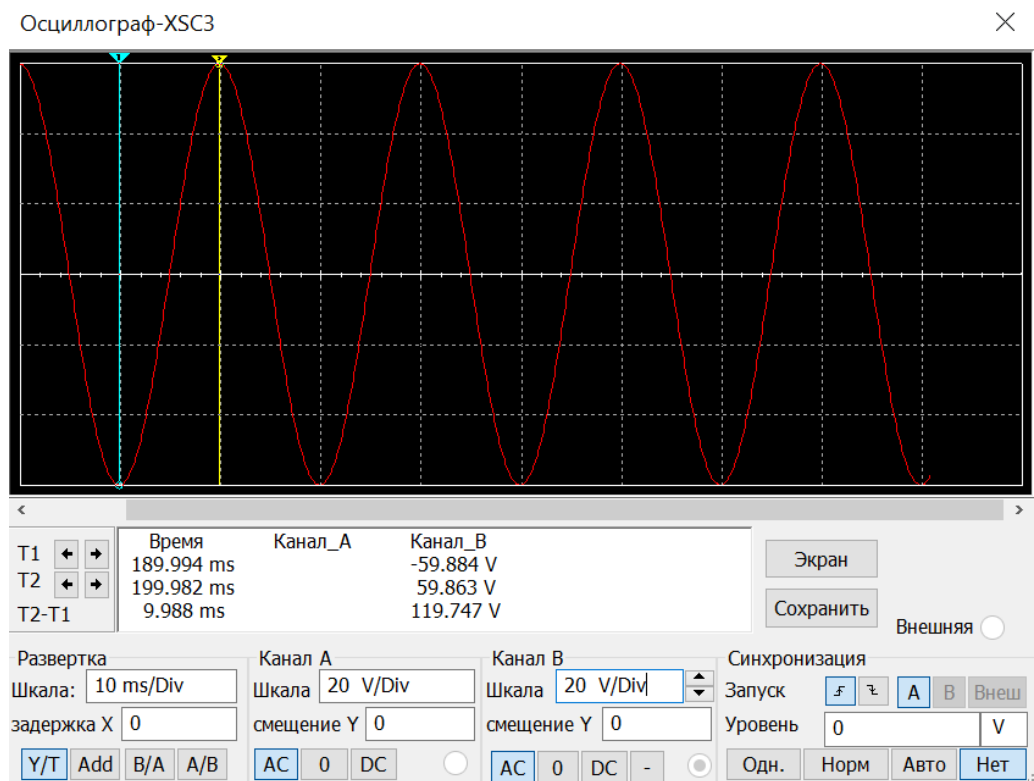


Рисунок 3.15 – Осциллограмма междофазного напряжения АС линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе ламп накаливания

Анализ данных осциллограмм показывает, что при линейной, равномерной, симметричной нагрузке высшие гармоники отсутствуют, наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии производить нет необходимости, потому как из выше приведенных осциллограмм можно сделать вывод, что при линейном, равномерном, симметричном характере нагрузки, на базе ламп накаливания, вид режима нейтрали не оказывает влияния на качество электрической энергии.

На рисунке 3.16 представлена электрическая схема линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов, выполненная в среде Multisim.

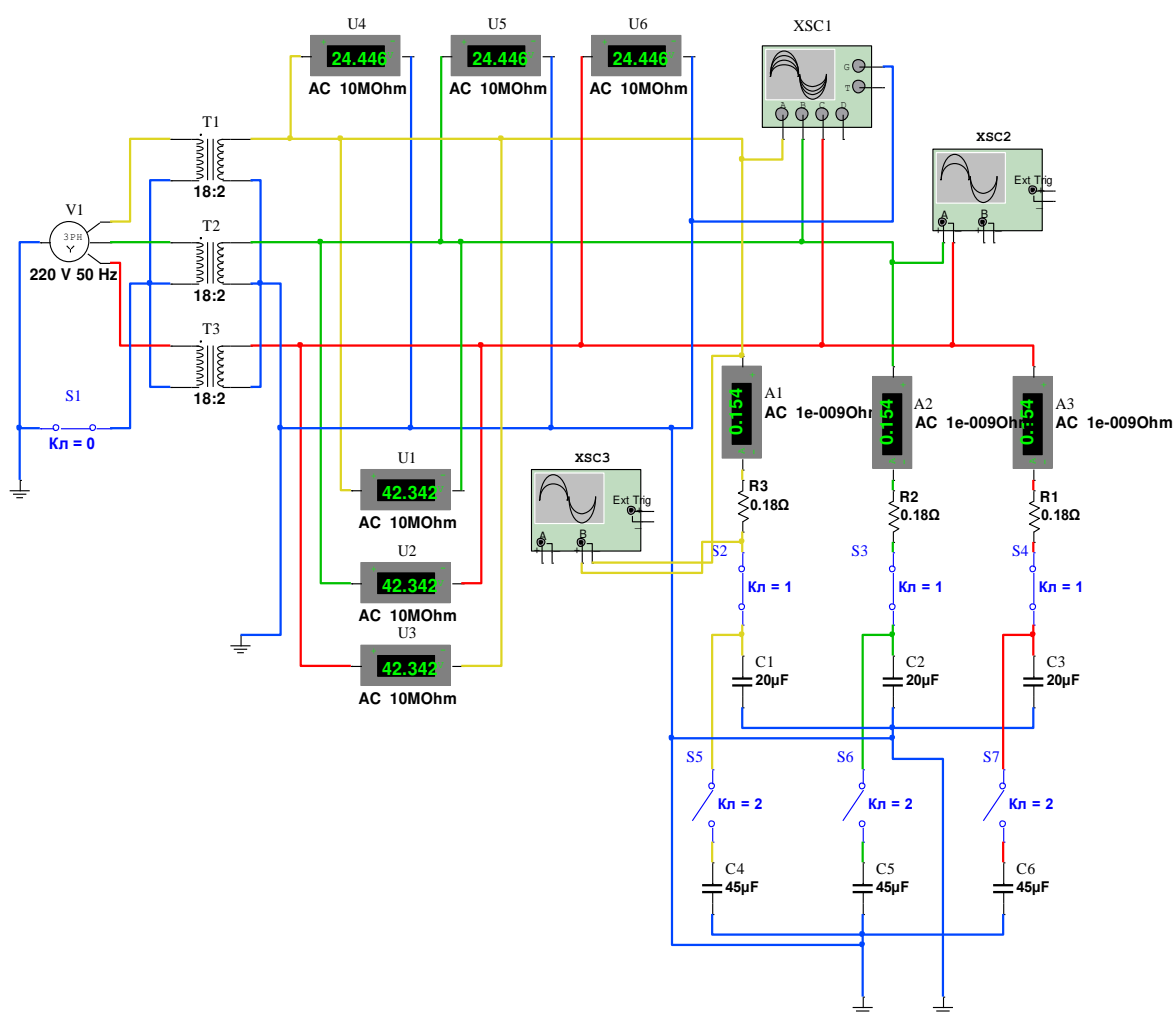


Рисунок 3.16 – Электрическая схема линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов в среде Multisim



При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.17, 3.18, 3.19, 3.20

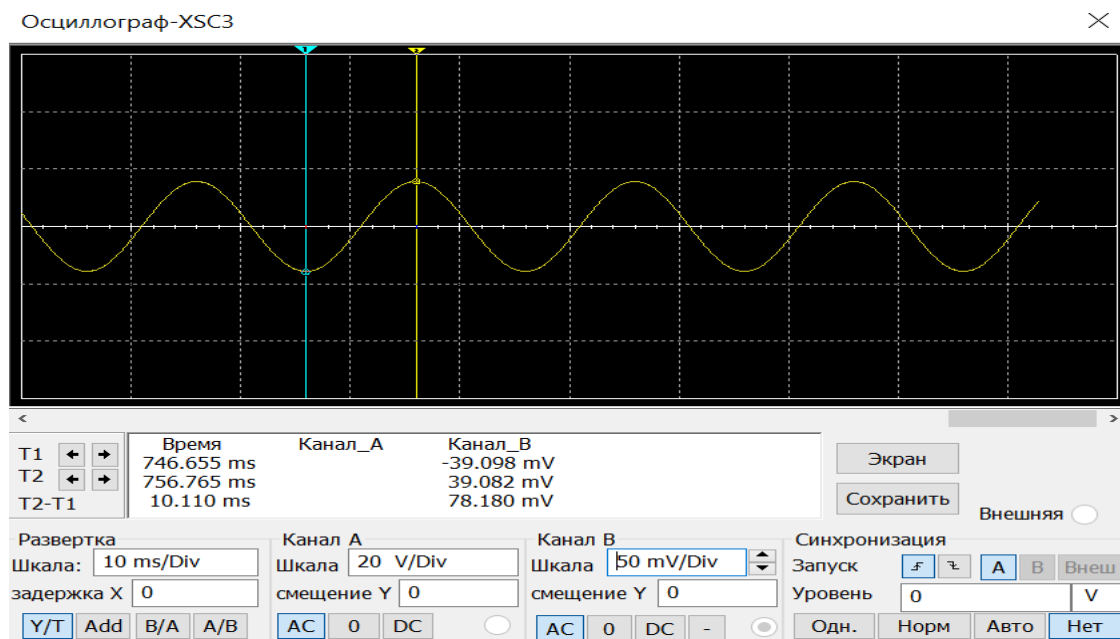


Рисунок 3.17 – Осциллограмма тока линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

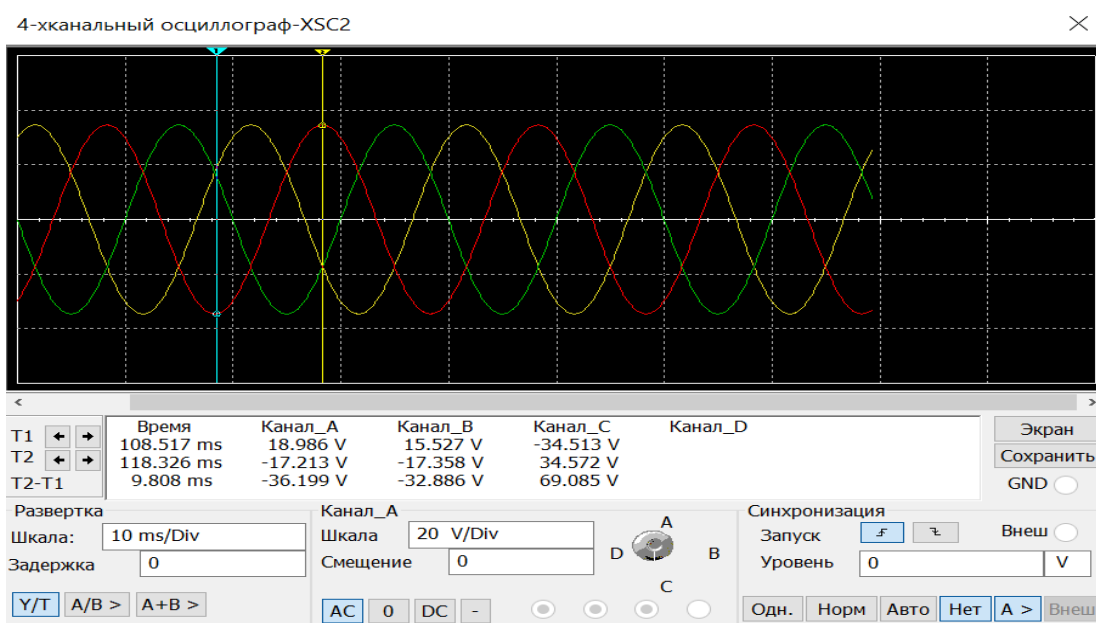


Рисунок 3.18 – Осциллограмма фазных напряжений линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

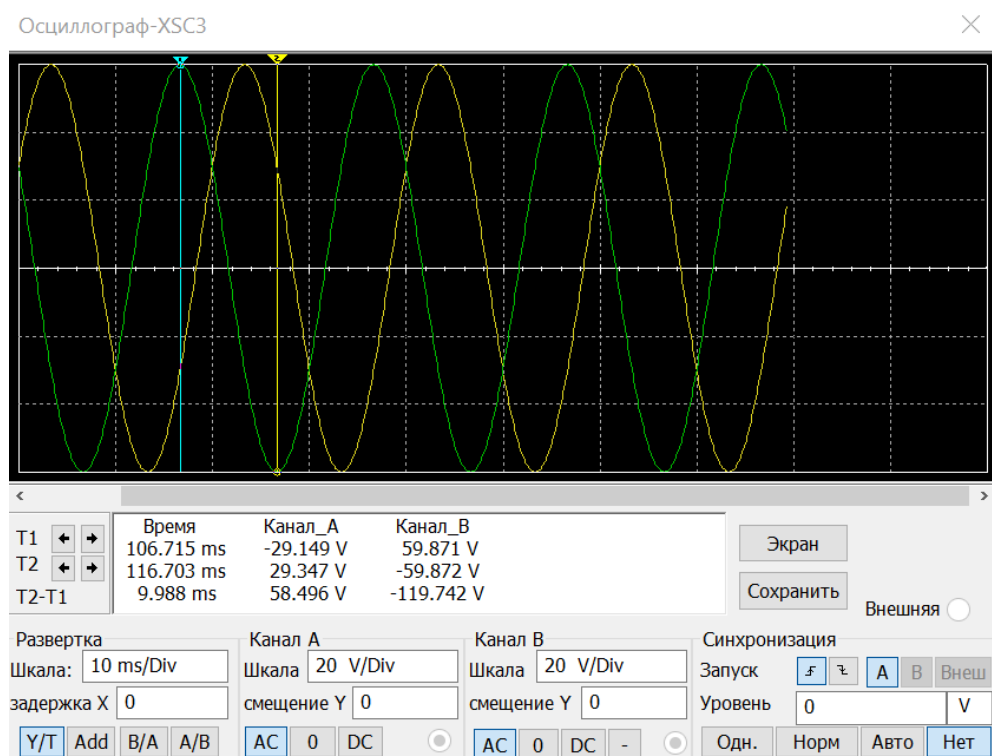


Рисунок 3.19 – Осциллограмма междупазных напряжений АВ и ВС линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

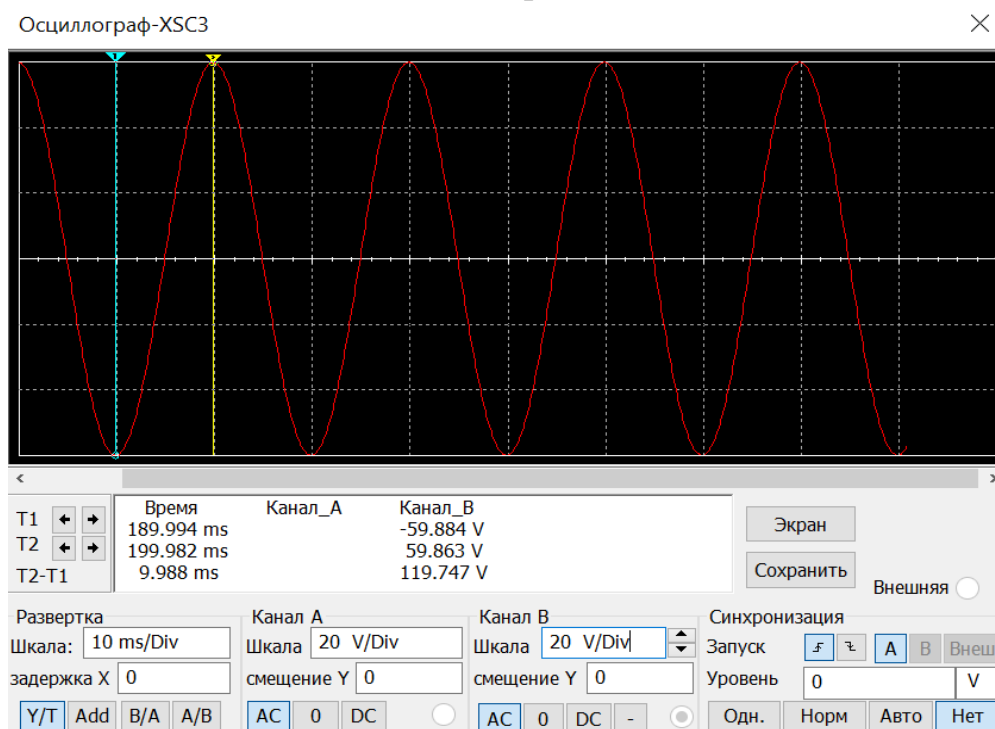


Рисунок 3.20 – Осциллограмма междупазного напряжения АС линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

Анализ данных осциллограмм показывает, что при линейной, равномерной, симметричной нагрузке высшие гармоники отсутствуют, наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии производить нет необходимости, потому как из выше приведенных осциллограмм можно сделать вывод, что при линейном, равномерном, симметричном характере нагрузки, на базе электрических конденсаторов, вид режима нейтрали не оказывает влияния на качество электрической энергии.

Сравнивая результаты моделирования линейных, равномерных, симметричных нагрузок на основе ламп накаливания и на основе конденсаторов, в сети с глухозаземленным режимом нейтрали, можно сделать вывод, что характер линейной, равномерной, симметричной нагрузки не оказывает влияния на показатели качества электрической энергии.

### 3.3 Результаты моделирования линейной, неравномерной, симметричной нагрузки с изолированным режимом нейтрали сети

На рисунке 3.21 представлена электрическая схема линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов, выполненная в среде Multisim.

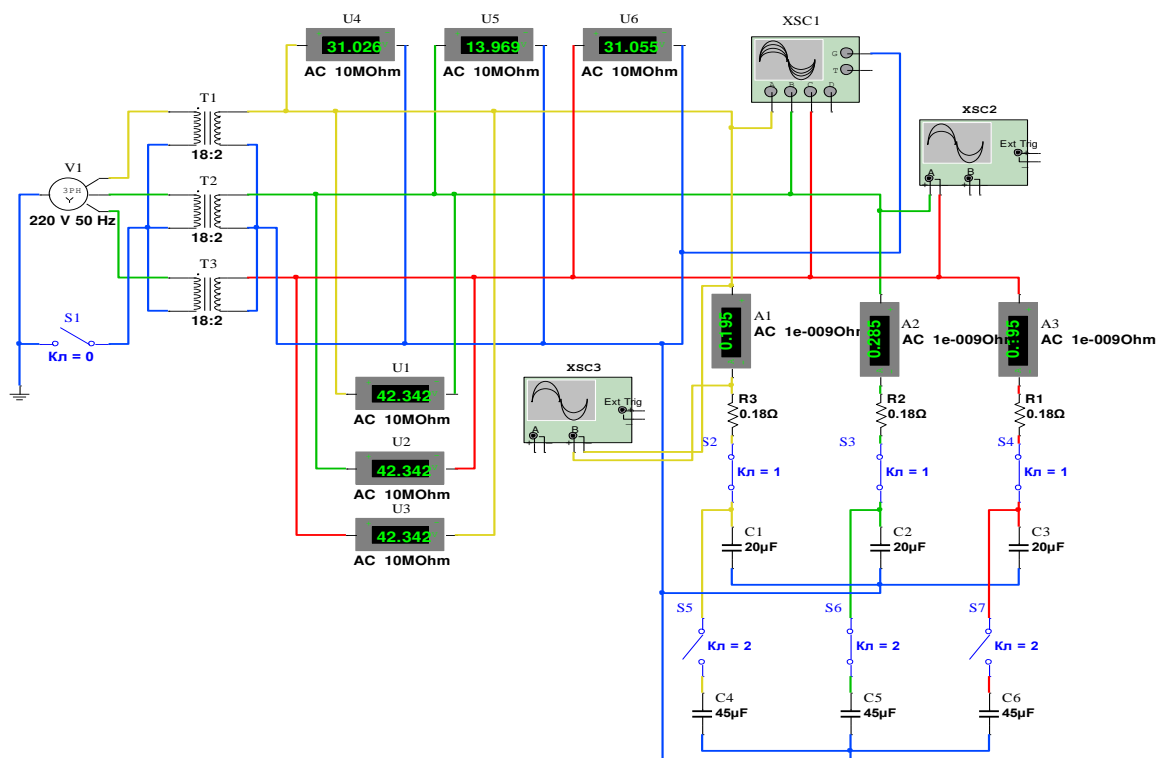


Рисунок 3.21 – Электрическая схема линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.22, 3.23, 3.24, 3.25

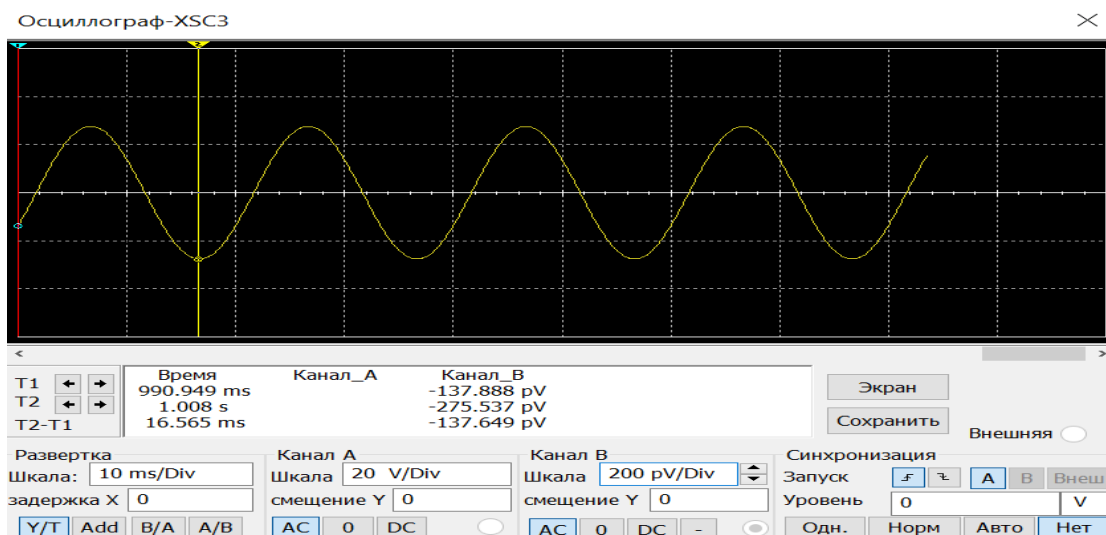


Рисунок 3.22 – Осциллограмма тока линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

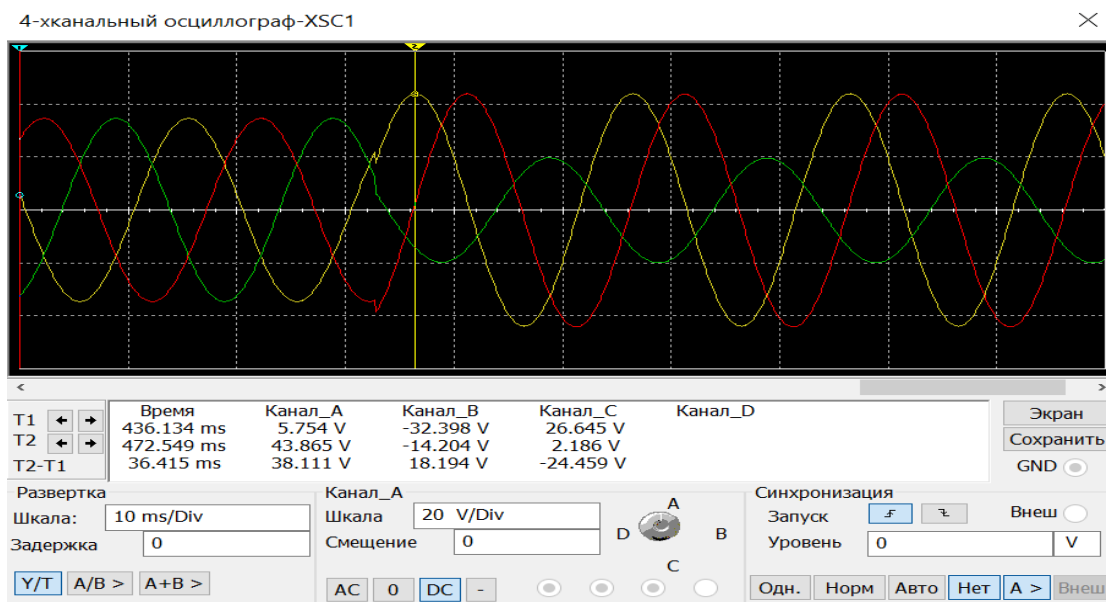


Рисунок 3.23 – Осциллограмма фазных напряжений линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

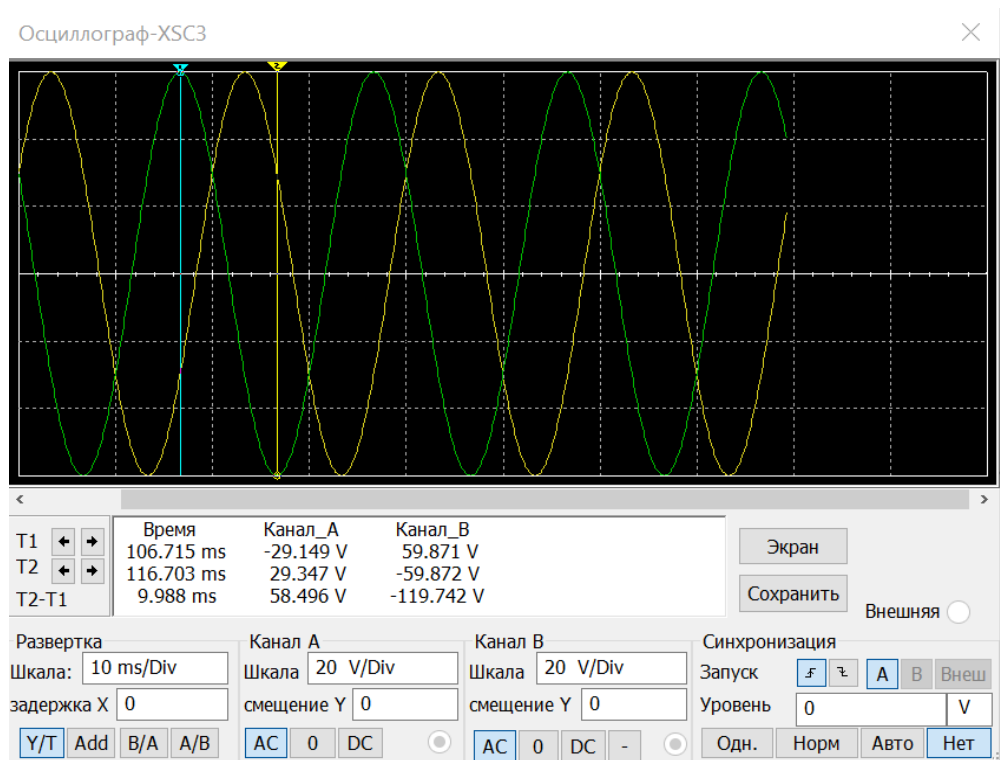


Рисунок 3.24 – Осциллограмма междуфазных напряжений АВ и ВС линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

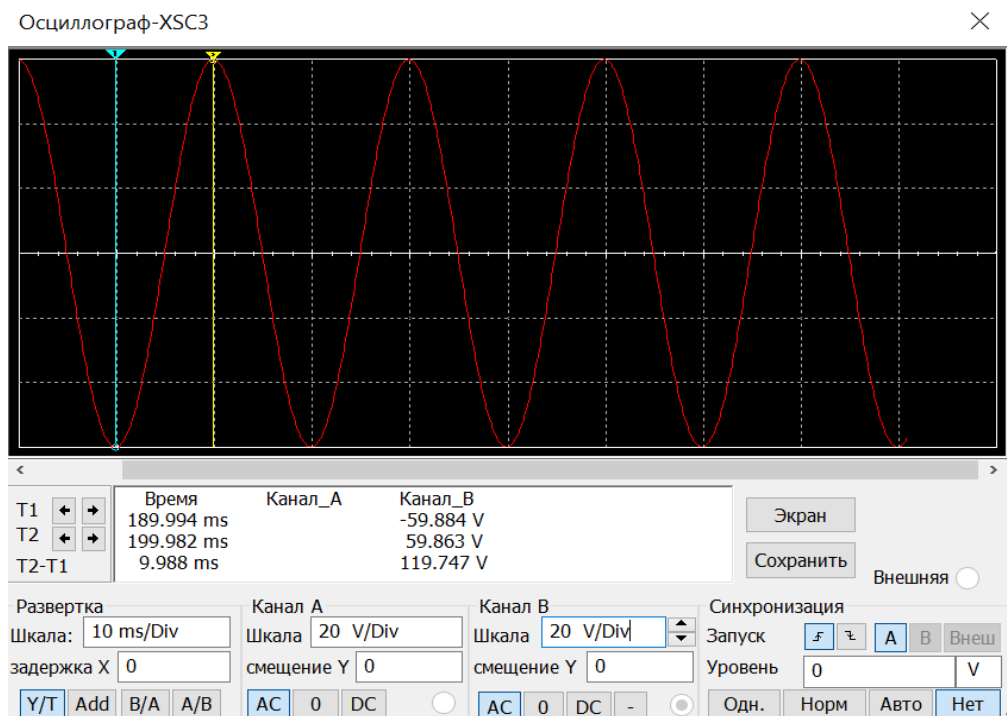


Рисунок 3.25 – Осциллограмма междуфазного напряжения АС линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

Анализ данных осциллограмм показывает, что при линейной, неравномерной, симметричной нагрузке высшие гармоники отсутствуют, наблюдается явная неравномерность фазного напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии представлен ниже.

### **Отклонение напряжения**

Действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты  $U_{1(1)i}$  определяется по формуле (3.1):

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3} (42 + 42 + 42) = 42 \text{ В.}$$

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле (3.2):

$$\delta U_y = \frac{42 - 42}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Колебания напряжения**

Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах определяется по формуле (3.3):

$$\delta U_t = \frac{|43 - 43|}{43} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Несимметрия напряжения**

Действующее значение напряжения по обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  определяется по формуле (3.7):

$$U_{2(1)i} = 0,62(42 - 42) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  в процентах определяется по формуле (3.8):

$$K_{2U} = \frac{0}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$



Действующее значение напряжения по нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)i}$  определяется по формуле (3.9):

$$U_{0(1)i} = 0,62(31 - 14) = 10,54 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в процентах определяется по формуле (3.10):

$$K_{0U} = \frac{10,54}{24} \cdot 100\% = 43,91 \%$$

### Отклонение частоты

Значение отклонения частоты  $\Delta f$  определяется по формуле (3.11):

$$\Delta f = 50 - 50 = 0 \text{ Гц.}$$

В таблице 3.5 приведены сводные данные о качестве электроэнергии на линейной, неравномерной, симметричной нагрузке на базе электрических конденсаторов.

Таблица 3.5 – Данные о качестве электроэнергии

$U_{\text{ном.мф}} = 42 \text{ В}$	$U_{\text{ном.фаз}} = 24 \text{ В}$	$f_{\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$	
Показатели качества электроэнергии	Нормально допустимое значение	Предельно допустимое значение	Измеренное значение
$\delta U_y$	5%	10%	0
$\delta U_t$	-	10%	0
$K_{2U}$	2%	4%	0
$K_{0U}$	2%	4%	43,91%
$\Delta f$	0,2Гц	0,4Гц	0

Анализ таблицы 3.5 показывает, что в сетях с изолированным режимом нейтрали при линейной, неравномерной, симметричной нагрузке качество электроэнергии не соответствует нормам.

Результаты моделирования линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на основе конденсаторов, в сети с изолированным режимом нейтрали, показали, что характер линейной, неравномерной, симметричной нагрузки оказывает существенное негативное влияние на показатели качества электрической энергии.

### 3.4 Результаты моделирования линейной, неравномерной, симметричной нагрузки с глухозаземленным режимом нейтрали сети

На рисунке 3.26 представлена электрическая схема линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов, выполненная в среде Multisim.

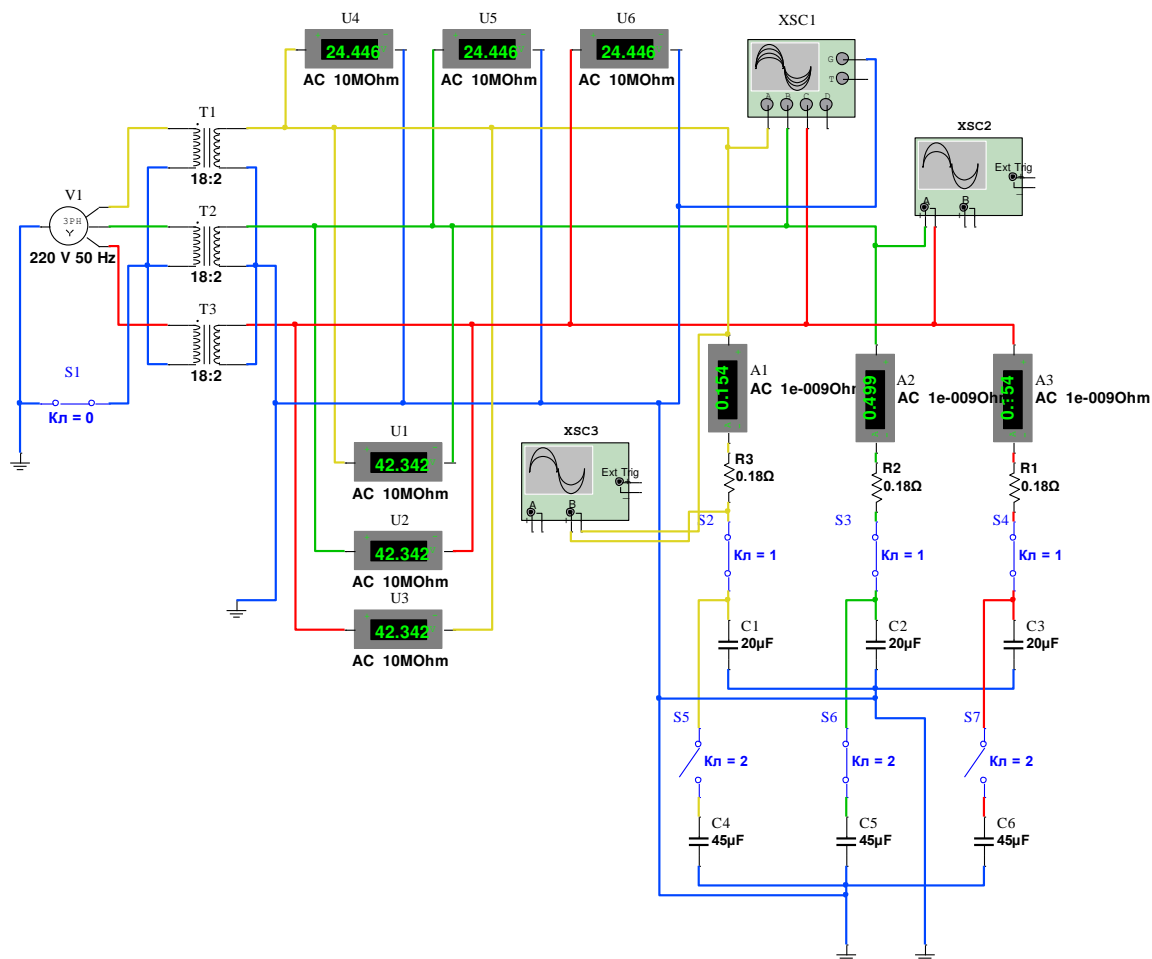


Рисунок 3.26 – Электрическая схема линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.27, 3.28, 3.29, 3.30

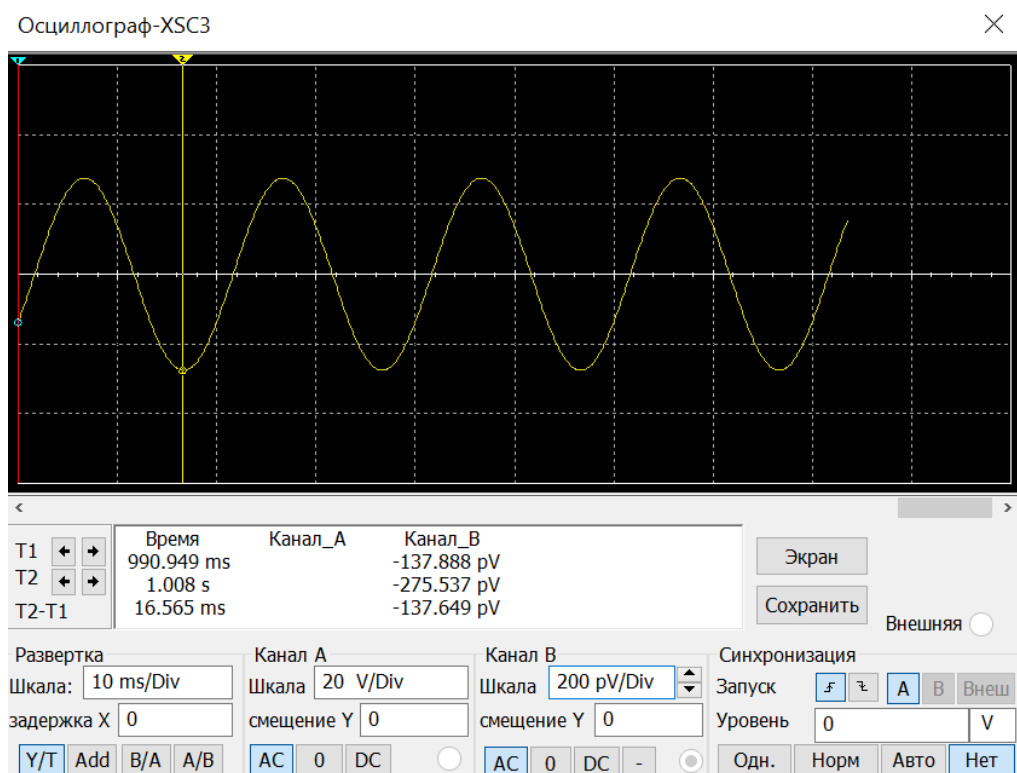


Рисунок 3.27 – Осциллограмма тока линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

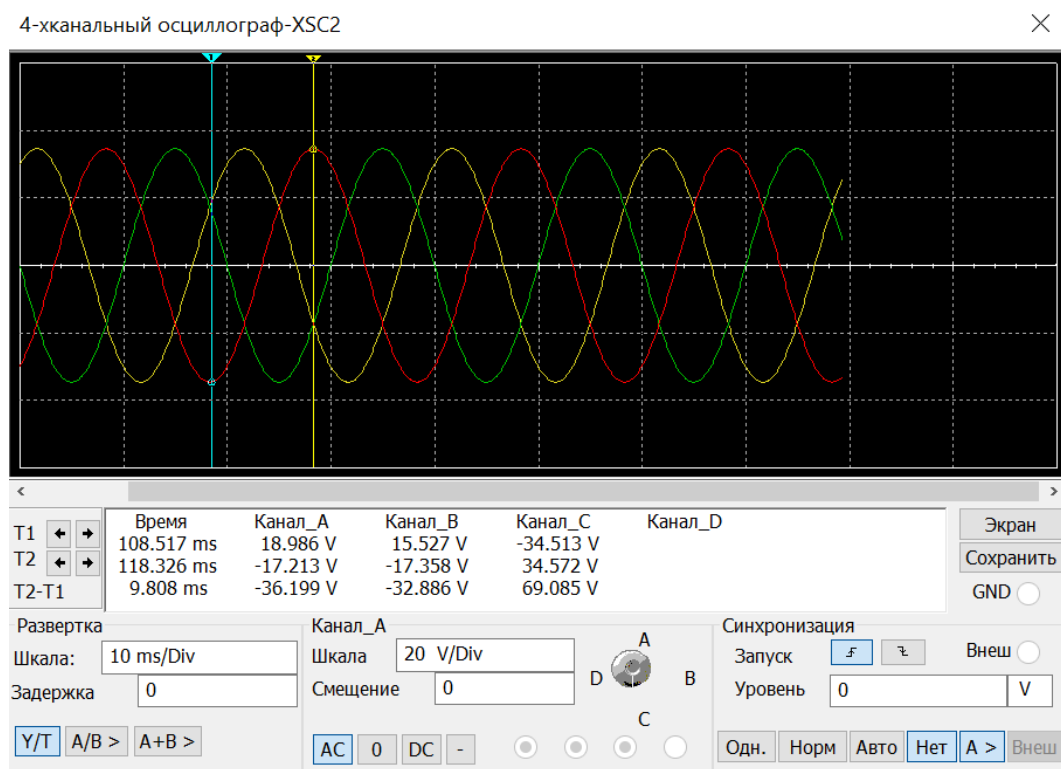


Рисунок 3.28 – Осциллограмма фазных напряжений линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

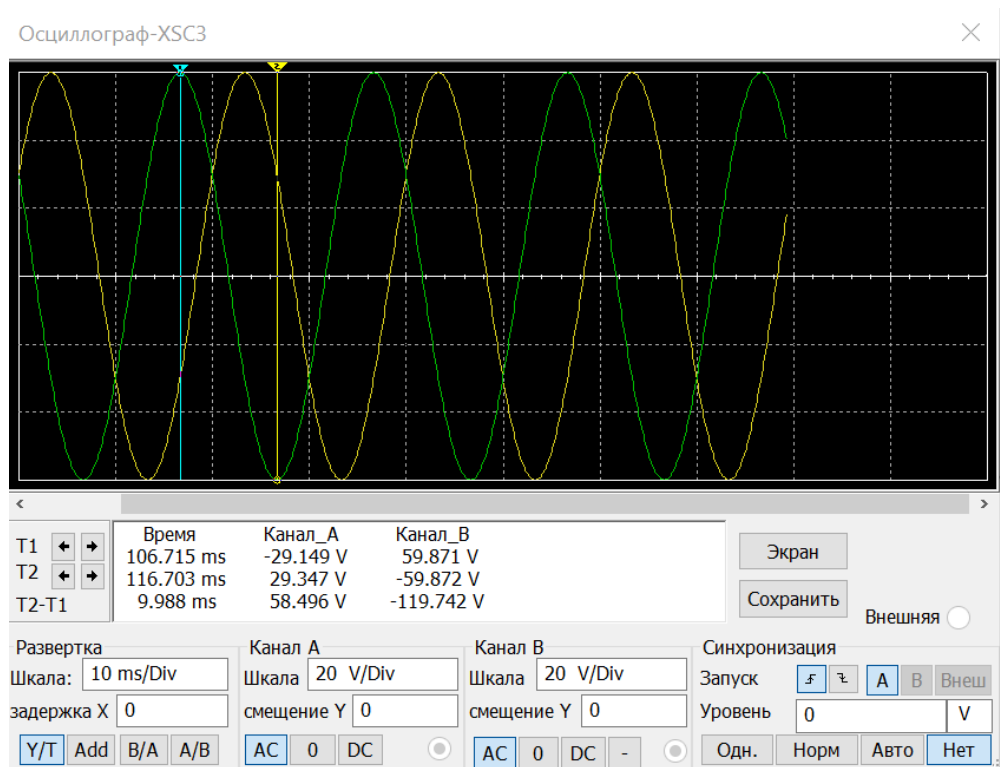


Рисунок 3.29 – Осциллограмма междофазных напряжений АВ и ВС линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

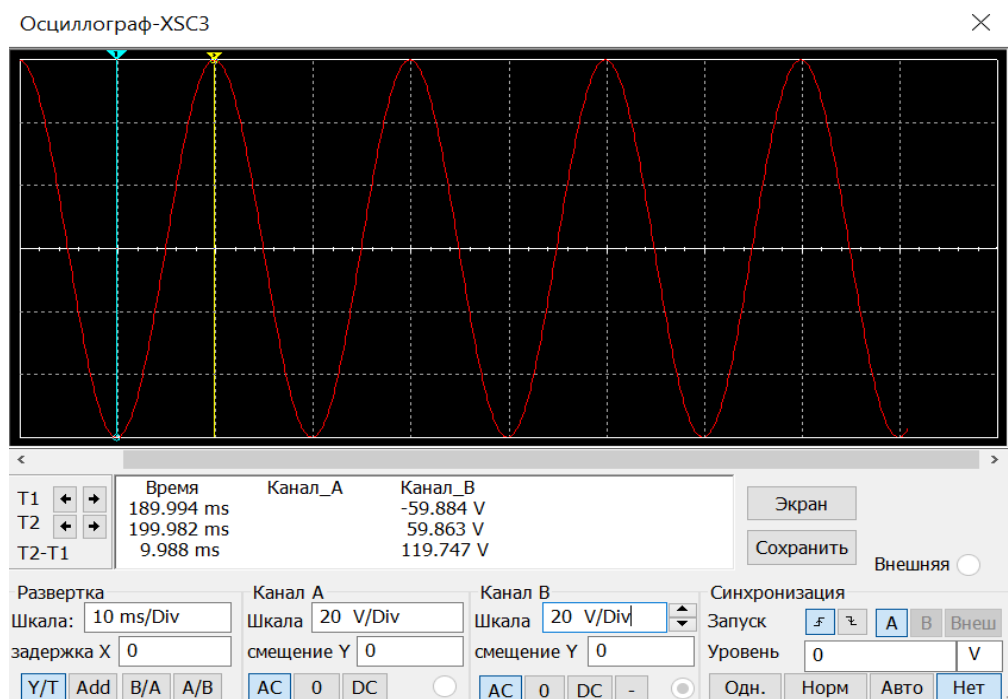


Рисунок 3.30 – Осциллограмма междофазного напряжения АС линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе электрических конденсаторов

Анализ данных осциллограмм показывает, что при линейной, неравномерной, симметричной нагрузке высшие гармоники отсутствуют,

наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии представлен ниже.

### **Отклонение напряжения**

Действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты  $U_{1(1)i}$  определяется по формуле (3.1):

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3} (42 + 42 + 42) = 42 \text{ В.}$$

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле (3.2):

$$\delta U_y = \frac{42 - 42}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Колебания напряжения**

Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах определяется по формуле (3.3):

$$\delta U_t = \frac{|33 - 33|}{33} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Несимметрия напряжения**

Действующее значение напряжения по обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  определяется по формуле (3.7):

$$U_{2(1)i} = 0,62(42 - 42) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  в процентах определяется по формуле (3.8):

$$K_{2U} = \frac{0}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

Действующее значение напряжения по нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)i}$  определяется по формуле (3.9):

$$U_{0(1)i} = 0,62(24 - 24) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в процентах определяется по формуле (3.10):

$$K_{0U} = \frac{0}{24} \cdot 100\% = 0 \%$$

### Отклонение частоты

Значение отклонения частоты  $\Delta f$  определяется по формуле (3.11):

$$\Delta f = 50 - 50 = 0 \text{ Гц}.$$

В таблице 3.6 приведены сводные данные о качестве электроэнергии на линейной, неравномерной, симметричной нагрузке на базе электрических конденсаторов.

Таблица 3.6 – Данные о качестве электроэнергии

$U_{\text{ном.мф}} = 42 \text{ В}$ Показатели качества электроэнергии	$U_{\text{ном.фаз}} = 24 \text{ В}$ Нормально допустимое значение	$f_{\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$ Предельно допустимое значение	Измеренное значение
$\delta U_y$	5%	10%	0
$\delta U_t$	-	10%	0
$K_{2U}$	2%	4%	0
$K_{0U}$	2%	4%	0
$\Delta f$	0,2 Гц	0,4 Гц	0

Анализ таблицы 3.6 показывает, что в сетях с глухозаземленным режимом нейтрали при линейной, неравномерной, симметричной нагрузке качество электроэнергии соответствует нормам.

Результаты моделирования линейной, неравномерной, симметричной нагрузки на базе конденсаторов, в сети с глухозаземленным режимом нейтрали, показали, что характер линейной, неравномерной, симметричной нагрузки не оказывает влияния на показатели качества электрической энергии.

Из разделов 3.3 и 3.4 можно сделать вывод, что при линейном, неравномерном, симметричном характере нагрузки и изолированном режиме нейтрали электрической сети, на показатели качества электрической энергии оказывают влияние неравномерность и несимметрия характера нагрузки. Но при глухозаземленном режиме нейтрали электрической сети неравномерность и несимметрия характера нагрузки не оказывают существенного влияния.

## 3.5 Результаты моделирования импульсной, равномерной, симметричной нагрузки с изолированным режимом нейтрали сети

На рисунке 3.31 представлена электрическая схема импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп, выполненная в среде Multisim.

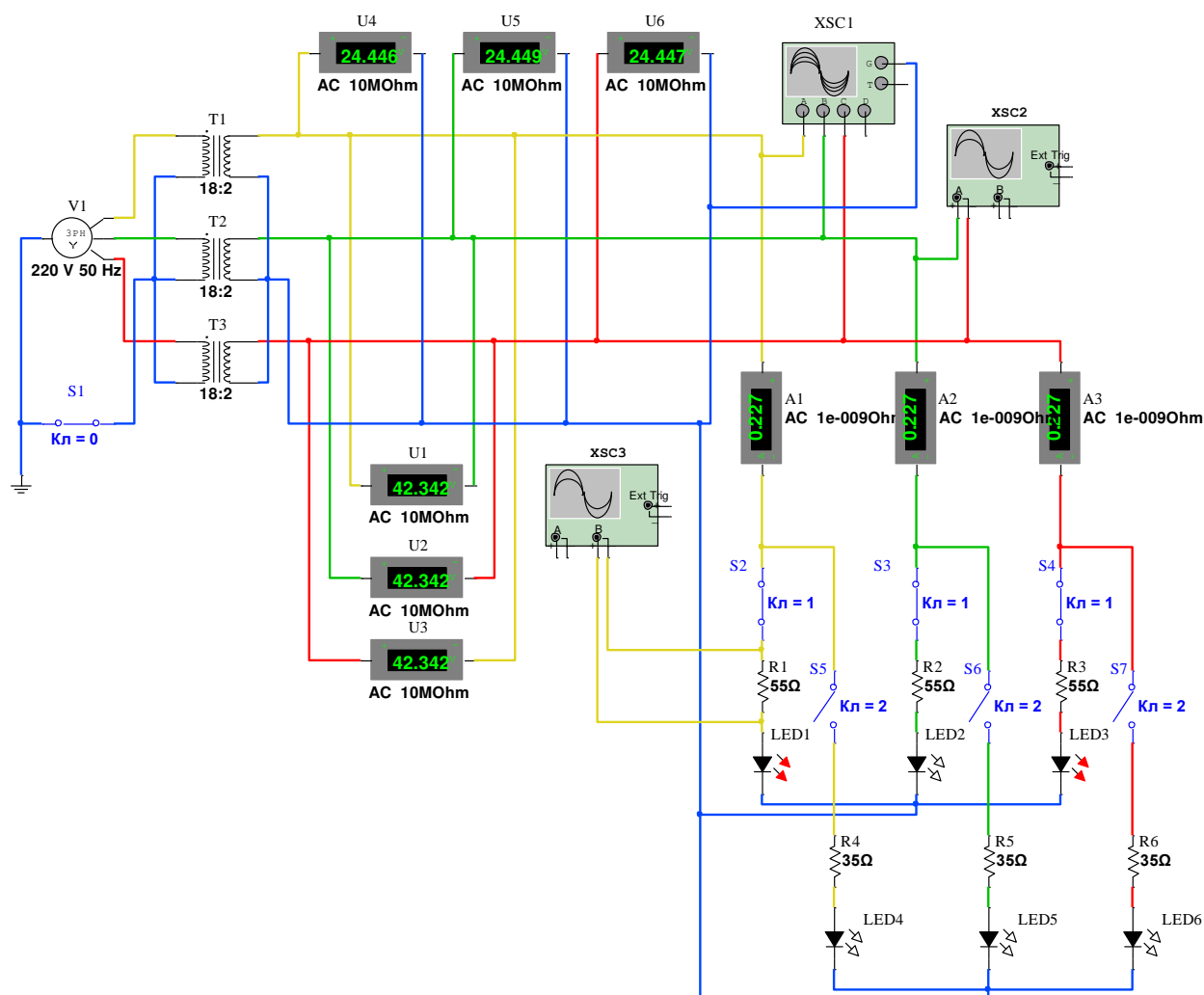


Рисунок 3.31 – Электрическая схема импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.32, 3.33, 3.34, 3.35



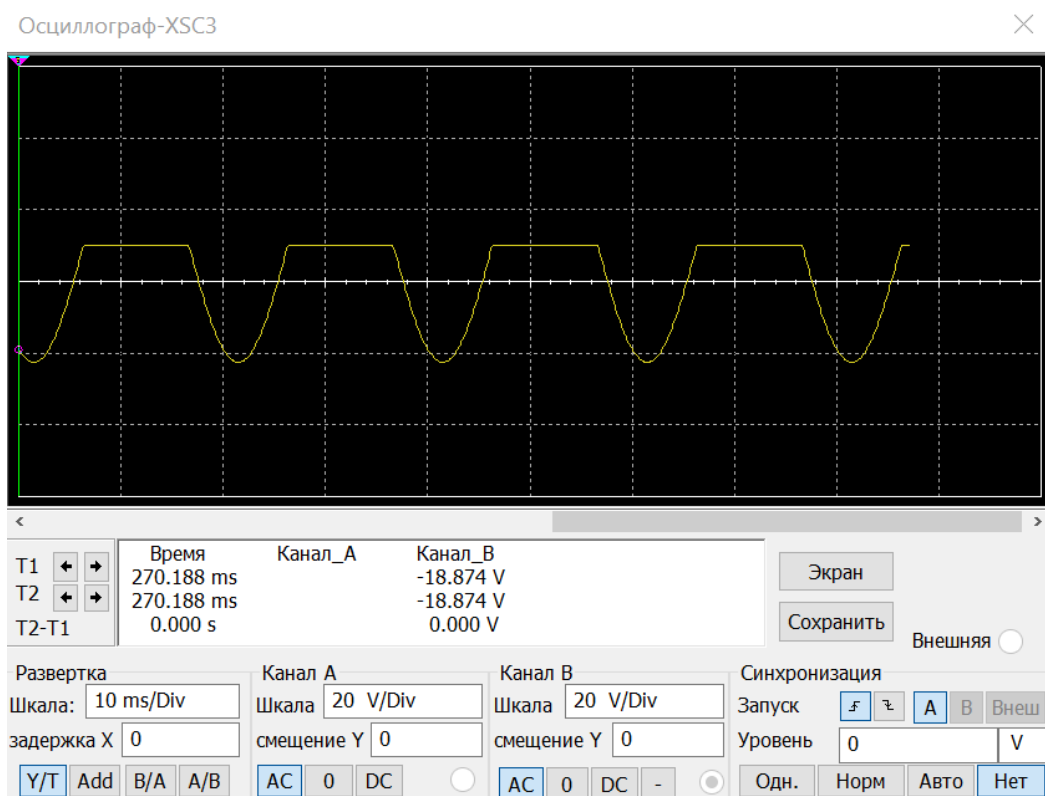


Рисунок 3.32 – Осциллограмма тока импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп

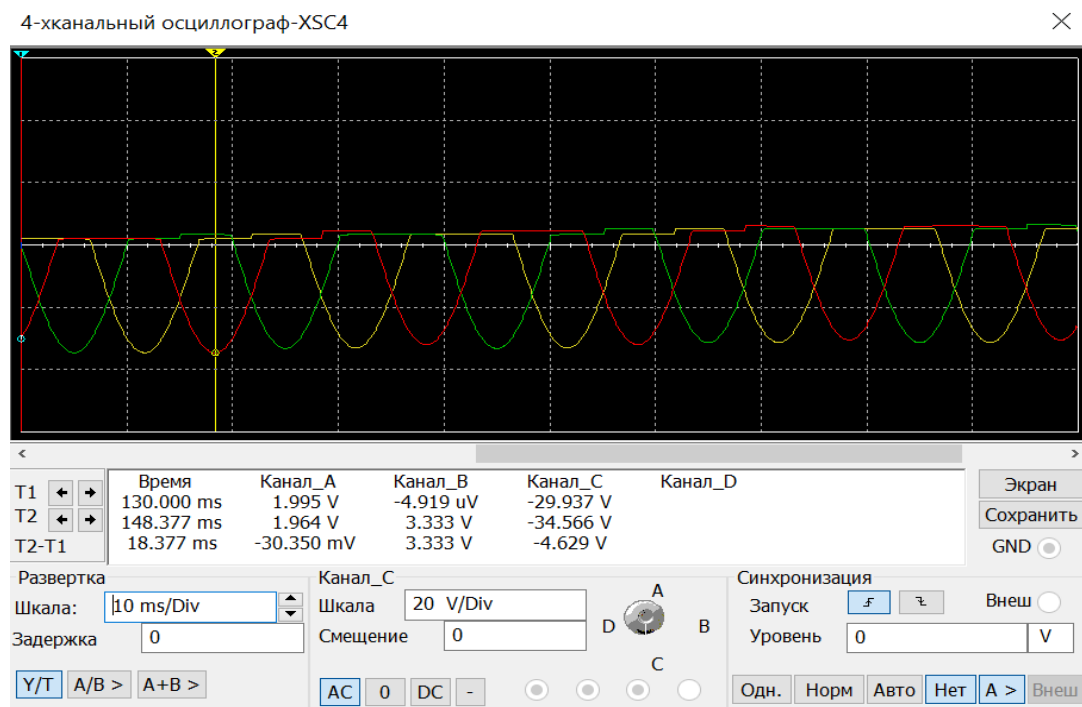


Рисунок 3.33 – Осциллограмма фазных напряжений импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп

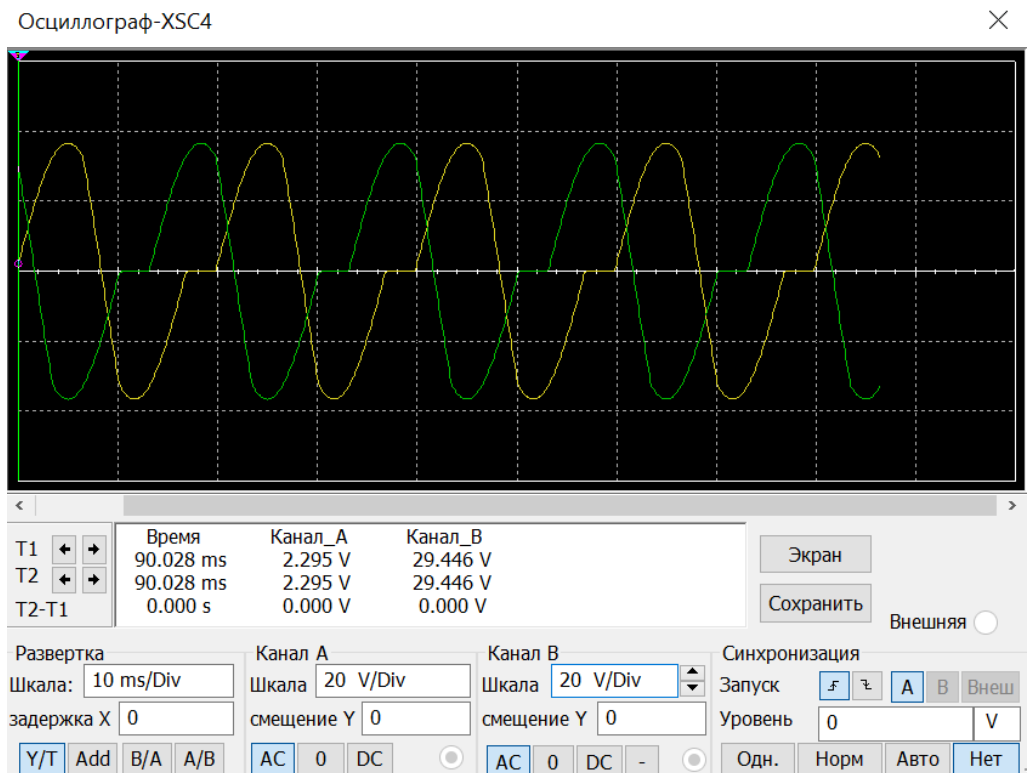


Рисунок 3.34 – Осциллограмма междофазных напряжений АВ и ВС импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп

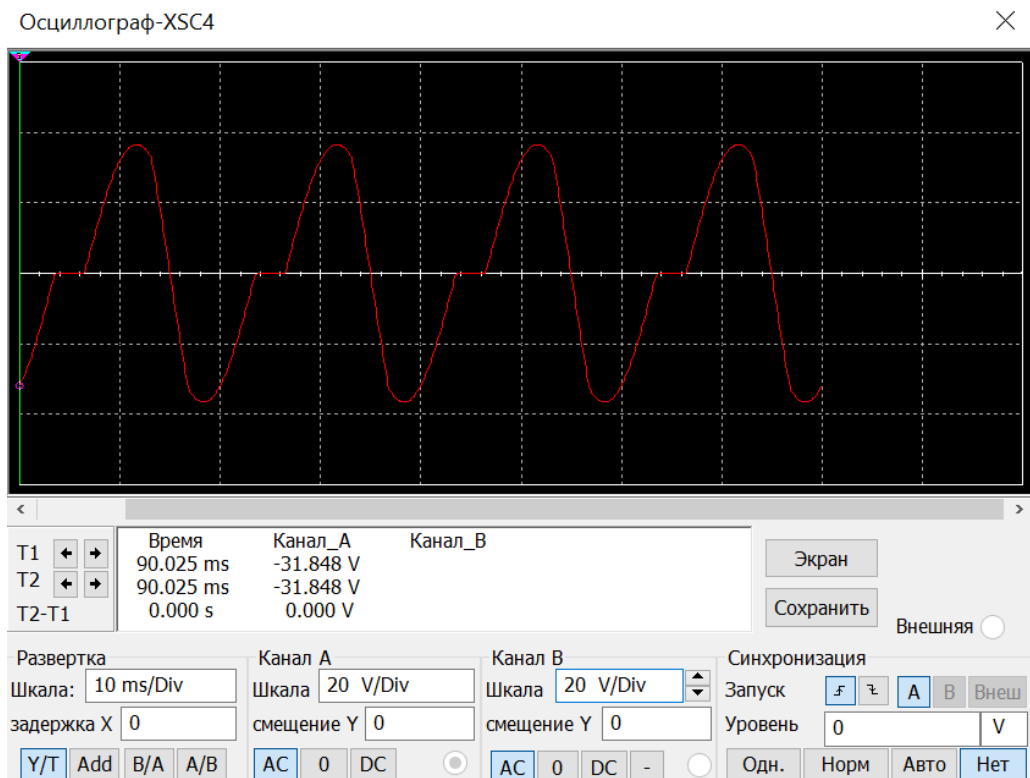


Рисунок 3.35 – Осциллограмма междофазного напряжения АС импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп

Если в схеме используется резистор ограничения тока через светодиод, то несинусоидальность фазного и линейного напряжения уменьшается. При моделировании принят резистор 55 ом, который приводит к тому, что в сети не

наблюдается искажения синусоидальности фазного и линейного напряжения. Ниже, на рисунках 3.36, 3.37, 3.38 приведены осциллограммы фазных и линейных напряжений в сети.

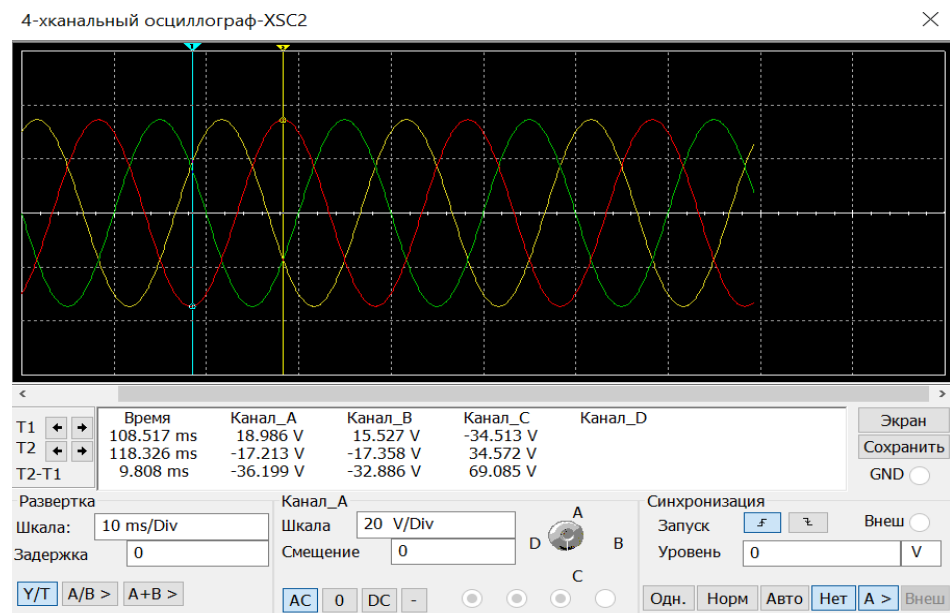


Рисунок 3.36 – Осциллограмма фазных напряжений импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп в сети

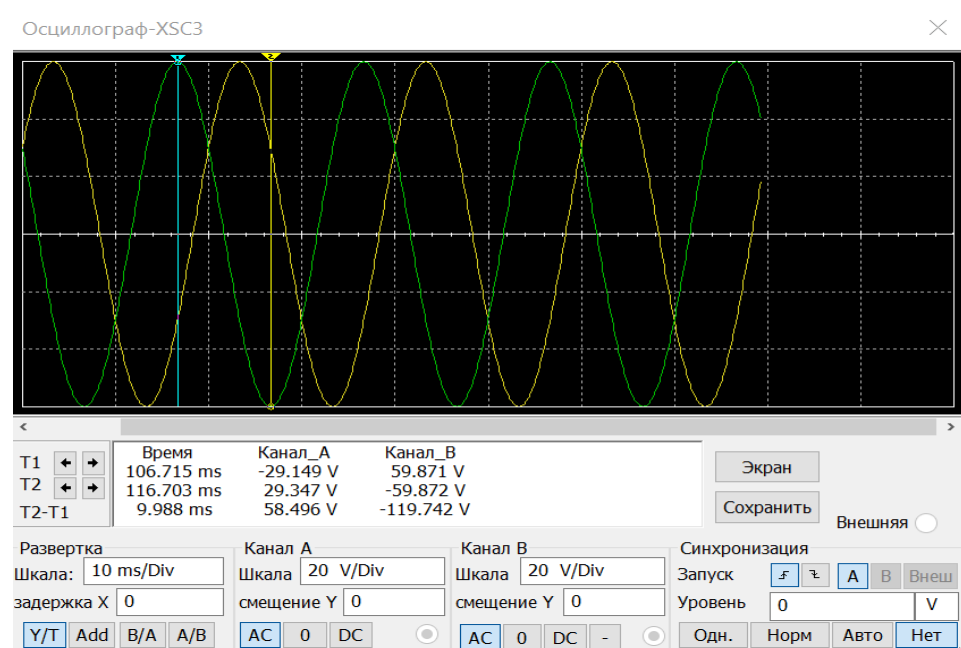


Рисунок 3.37 – Осциллограмма междупазных напряжений АВ и ВС импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп в сети

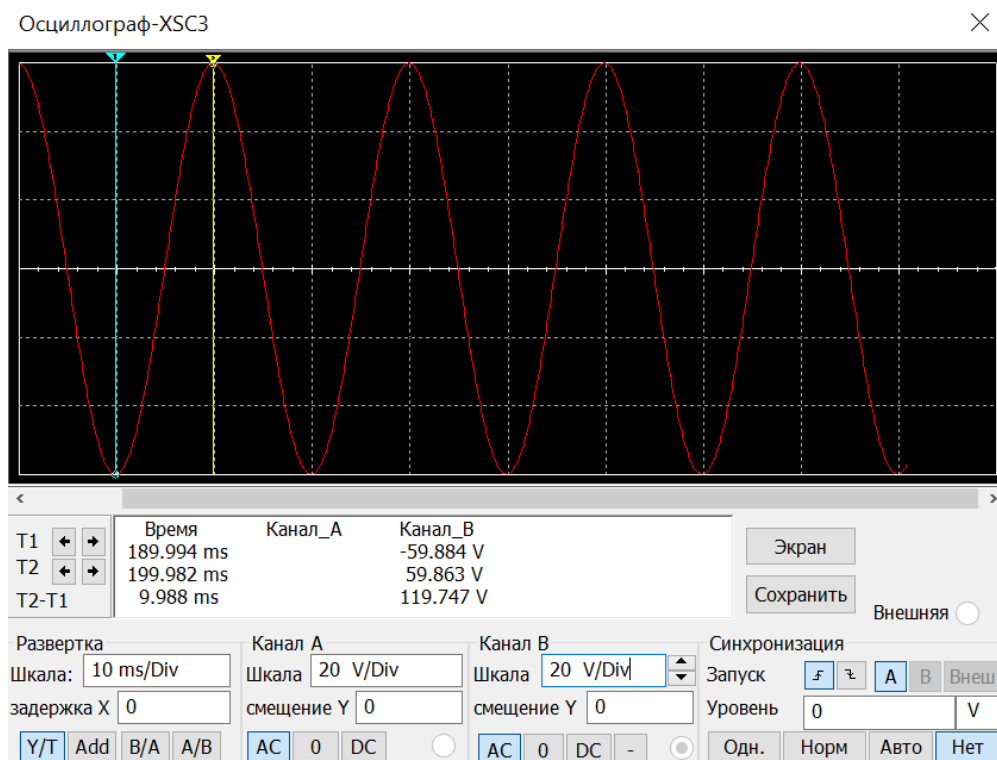


Рисунок 3.38 – Осциллограмма междуфазного напряжения АС импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп в сети

Анализ осциллограмм приведенных на рисунках 3.32, 3.33, 3.34, 3.35 показывает, что при импульсной, равномерной, симметричной нагрузке в линейном и фазном напряжении, а также в токе нагрузки наблюдаются высшие гармоники, несимметрия напряжения отсутствует, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии представлен ниже.

### Отклонение напряжения

Действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты  $U_{1(1)i}$  определяется по формуле (3.1):

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3} (42 + 42 + 42) = 42 \text{ В.}$$

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле (3.2):

$$\delta U_y = \frac{42-42}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

## Колебания напряжения

Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах определяется по формуле (3.3):

$$\delta U_t = \frac{|33 - 33|}{33} \cdot 100\% = 0\%$$

## Несинусоидальность напряжения

Действующие значения фазного напряжения каждой гармонической составляющей, зафиксированные при помощи анализатора спектра в среде Multisim, представлены в таблице 3.7

Таблица 3.7 – Действующие значения фазного напряжения гармонической составляющей

Номер гармоники $n^*$	Частота $f$ , Гц.	Напряжение $U$ , В.	Номер гармоники $n^*$	Частота $f$ , Гц.	Напряжение $U$ , В.
2	100	6,988	21	1050	1,842
3	150	4,576	22	1100	0,63
4	200	1,189	23	1150	1,747
5	250	1,178	24	1200	0,4
6	300	2,855	25	1250	1,191
7	350	0,931	26	1300	0,74
8	400	1,344	27	1350	2,5
9	450	5,902	28	1400	0,2
10	500	1,454	29	1450	0,26
11	550	2,021	30	1500	0,3
12	600	2,625	31	1550	0,28
13	650	0,441	32	1600	0,73
14	700	0,4	33	1650	0,69
15	750	1,287	34	1700	0,52
16	800	0,9	35	1750	0,64
17	850	0,958	36	1800	1,0
18	900	1,089	37	1850	0,67
19	950	1,007	38	1900	0,74
20	1000	0,4	39	1950	1,73
			40	2000	0,77

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$  в процентах определяется по формуле (3.4):

$$K_U = \frac{\sqrt{6,988^2 + 4,576^2 + 1,189^2 + 1,178^2 + 2,855^2 + 0,931^2 + 1,344^2 + 5,902^2 + 1,454^2 + 2,021^2 + 2,625^2 + 0,441^2 + 0,4^2 + 1,287^2 + 0,9^2 + 0,958^2 + 1,089^2 + 1,007^2 + 0,4^2 + 1,842^2 + 0,63^2 + 1,747^2 + 0,4^2 + 1,191^2 + 0,74^2 + 2,5^2 + 0,2^2 + 0,26^2 + 0,3^2 + 0,28^2 + 0,73^2 + 0,69^2 + 0,52^2 + 0,64^2 + 1,0^2 + 0,67^2 + 0,74^2 + 1,73^2 + 0,77^2}}{24}$$

$$\frac{\sqrt{+0,67^2+0,74^2+1,73^2+0,77^2}}{24} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{160,856}}{24} \cdot 100\% = 52,7\%$$

Коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$  определяется в процентах по формуле (3.5):

$$K_{U(n)} = \frac{4,576}{24} \cdot 100\% = 19,06\%, \text{ при } n=3$$

Предельно допустимое значение коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)pred}$  вычисляют по формуле (3.6):

$$K_{U(n)pred} = 1,5 \cdot 5 = 7,25\%$$

$K_{U(n)}$  превышает  $K_{U(n)pred}$ .

### Несимметрия напряжения

Действующее значение напряжения по обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  определяется по формуле (3.7):

$$U_{2(1)i} = 0,62(42 - 42) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  в процентах определяется по формуле (3.8):

$$K_{2U} = \frac{0}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

Действующее значение напряжения по нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)i}$  определяется по формуле (3.9):

$$U_{0(1)i} = 0,62(24 - 24) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в процентах определяется по формуле (3.10):

$$K_{0U} = \frac{0}{24} \cdot 100\% = 0 \%$$

### Отклонение частоты

Значение отклонения частоты  $\Delta f$  определяется по формуле (3.11):

$$\Delta f = 50 - 50 = 0 \text{ Гц}.$$

В таблице 3.8 приведены сводные данные о качестве электроэнергии на импульсной, равномерной, симметричной нагрузке на базе светодиодных ламп.

Таблица 3.8 – Данные о качестве электроэнергии

$U_{\text{ном.мф}} = 42 \text{ В}$	$U_{\text{ном.фаз}} = 24 \text{ В}$	$f_{\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$	
Показатели качества электроэнергии	Нормально допустимое значение	Предельно допустимое значение	Измеренное значение
$\delta U_y$	5%	10%	0
$\delta U_t$	-	10%	0
$K_U$	8%	12%	68,7%
$K_{Un}$	6%	9%	$n(3) = 19,06\%$
$K_{2U}$	2%	4%	0
$K_{0U}$	2%	4%	0
$\Delta f$	0,2Гц	0,4Гц	0

Анализ таблицы 3.8 показывает, что в сетях с изолированным режимом нейтрали при импульсной, равномерной, симметричной нагрузке качество электроэнергии не соответствует нормам.

Результаты моделирования импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на основе светодиодных ламп, в сети с изолированным режимом нейтрали, показали, что характер импульсной, равномерной, симметричной нагрузки оказывает крайне негативное влияние на показатели качества электрической энергии.

### 3.6 Результаты моделирования импульсной, равномерной, симметричной нагрузки с глухозаземленным режимом нейтрали сети

На рисунке 3.39 представлена электрическая схема импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп, выполненная в среде Multisim.



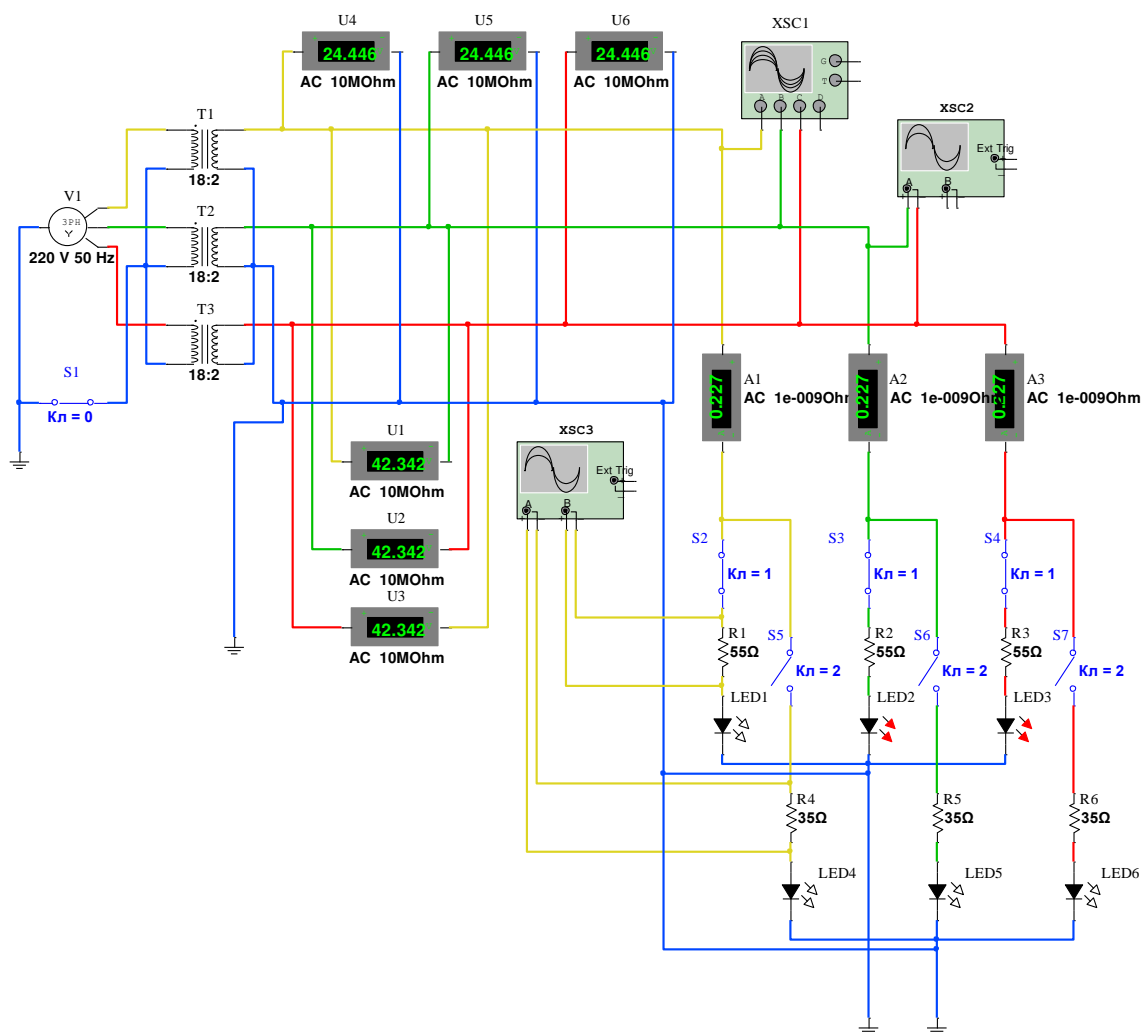


Рисунок 3.39 – Электрическая схема импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.40, 3.41, 3.42, 3.43

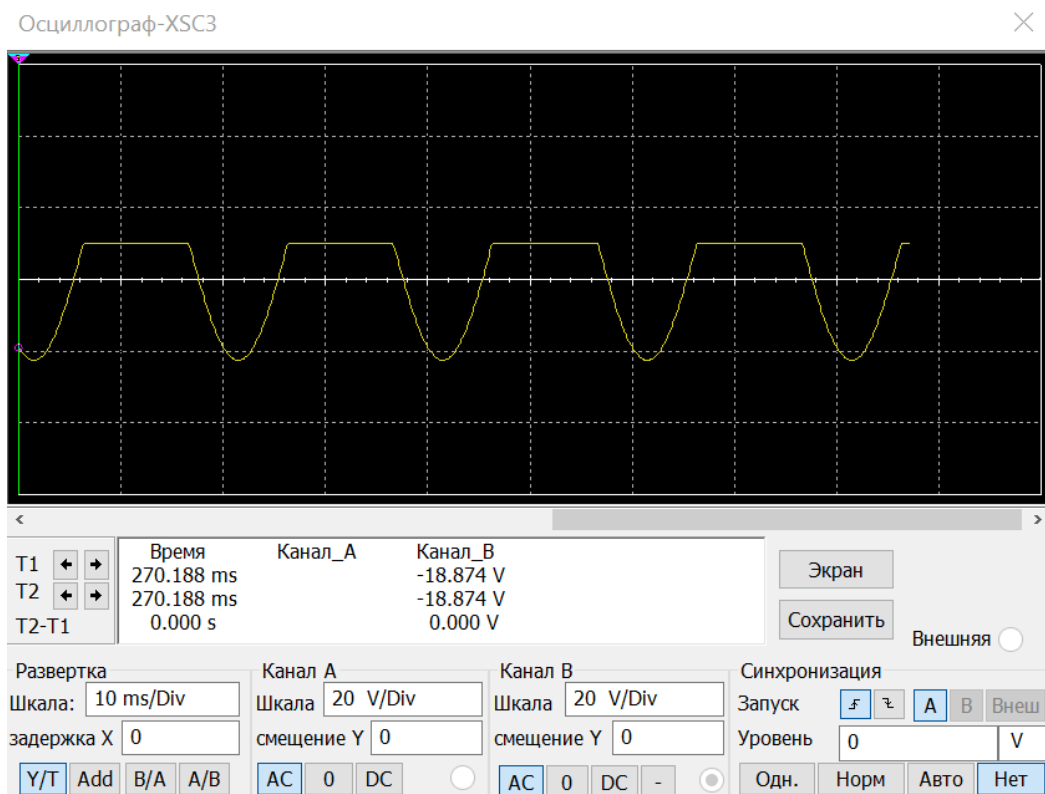


Рисунок 3.40 – Осциллограмма тока импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп

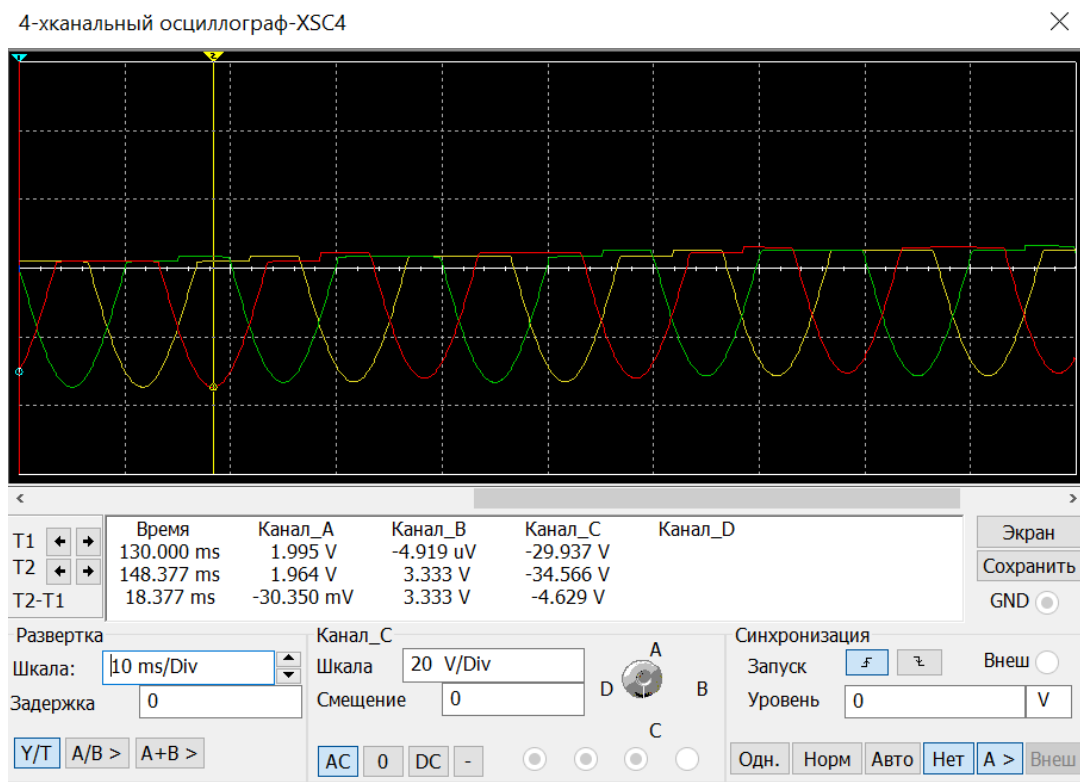


Рисунок 3.41 – Осциллограмма фазных напряжений импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп

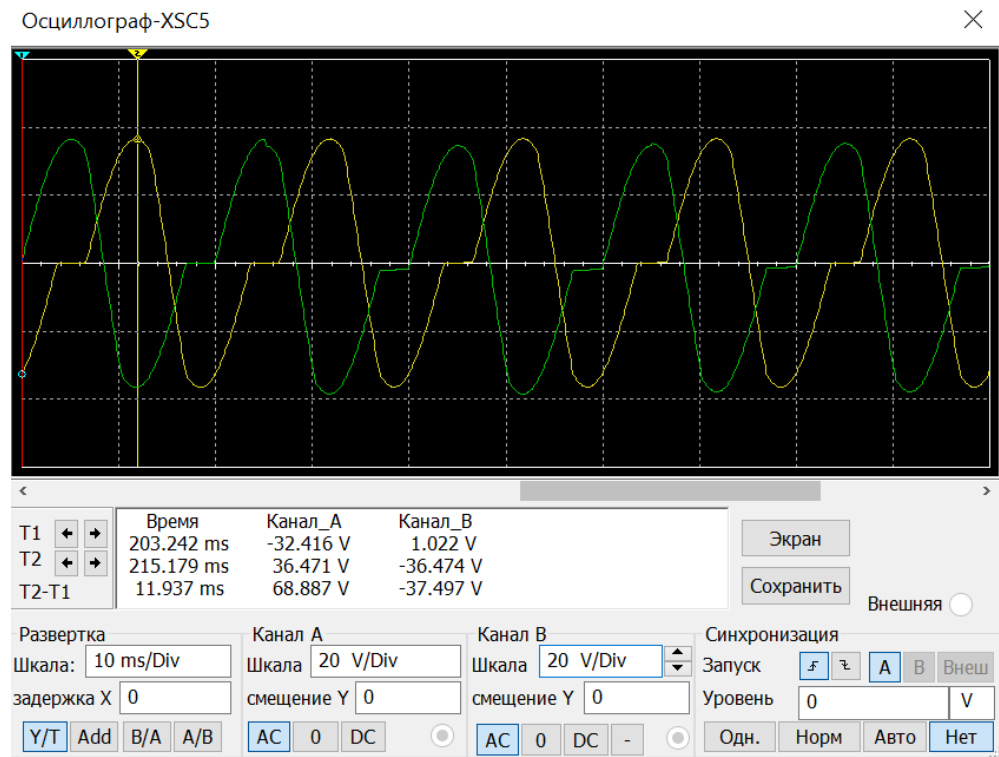


Рисунок 3.42 – Осциллограмма междуфазных напряжений АВ и ВС импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп

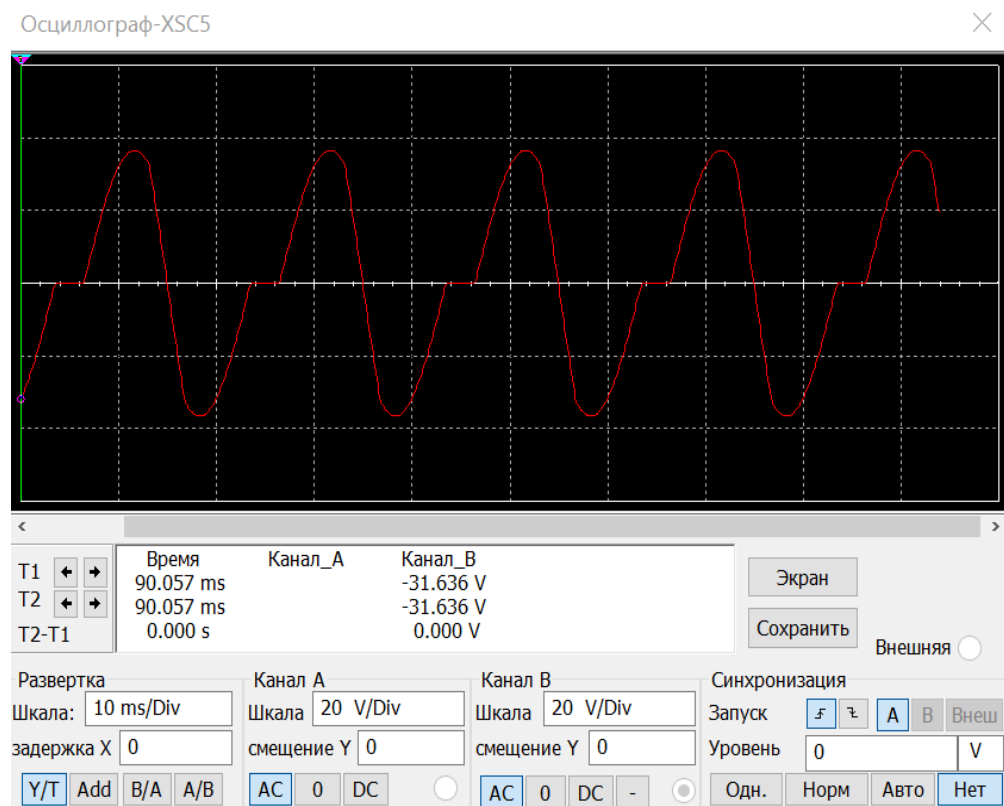


Рисунок 3.43 – Осциллограмма междуфазного напряжения АС импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп

Если в схеме используется резистор ограничения тока через светодиод, то несинусоидальность фазного и линейного напряжения уменьшается. При

моделировании принят резистор 55 ом, который приводит к тому, что в сети не наблюдается искажения синусоидальности фазного и линейного напряжения. Ниже, на рисунках 3.44, 3.45, 3.46 приведены осциллограммы фазных и линейных напряжений в сети.

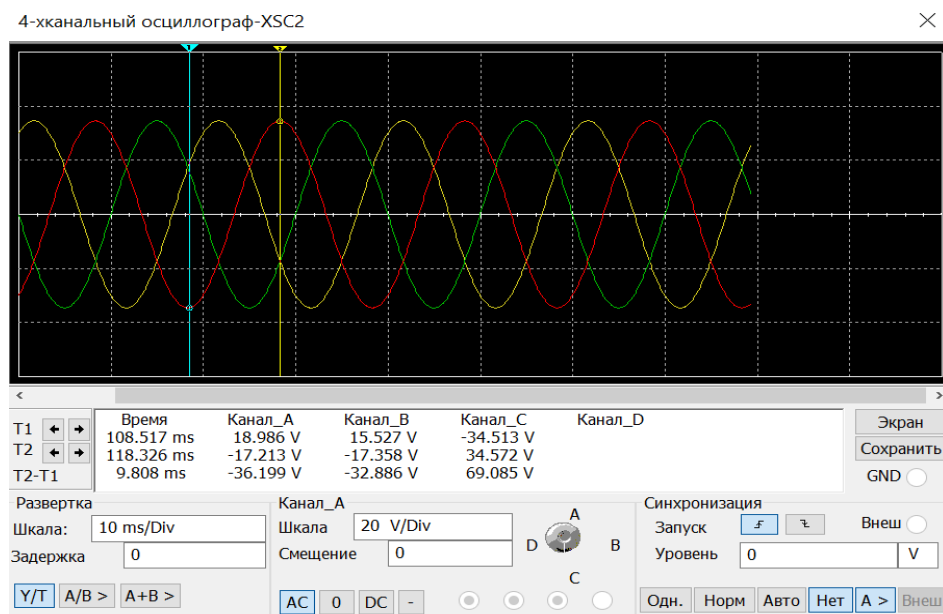


Рисунок 3.44 – Осциллограмма фазных напряжений импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп в сети

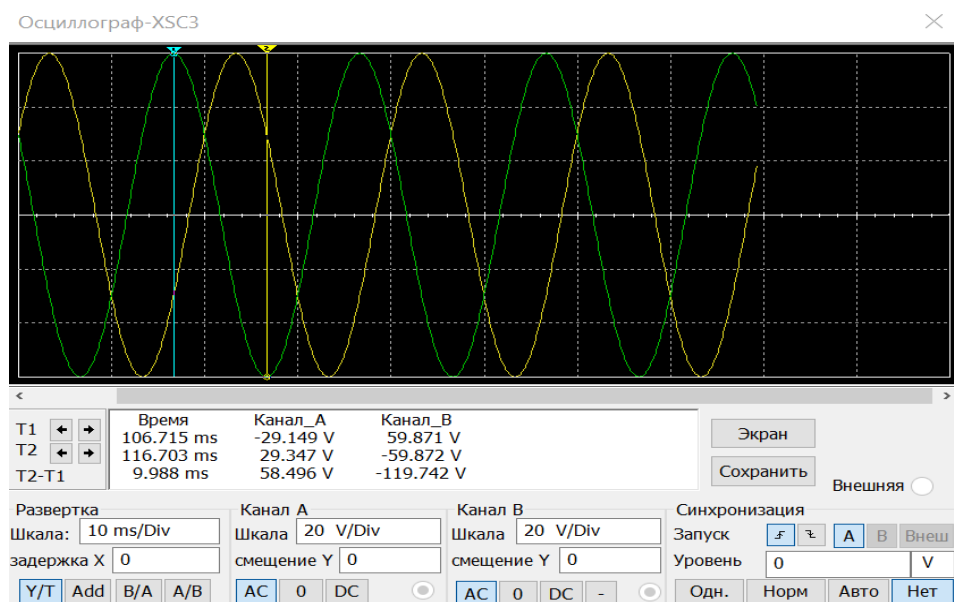


Рисунок 3.45 – Осциллограмма междуфазных напряжений АВ и ВС импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп в сети

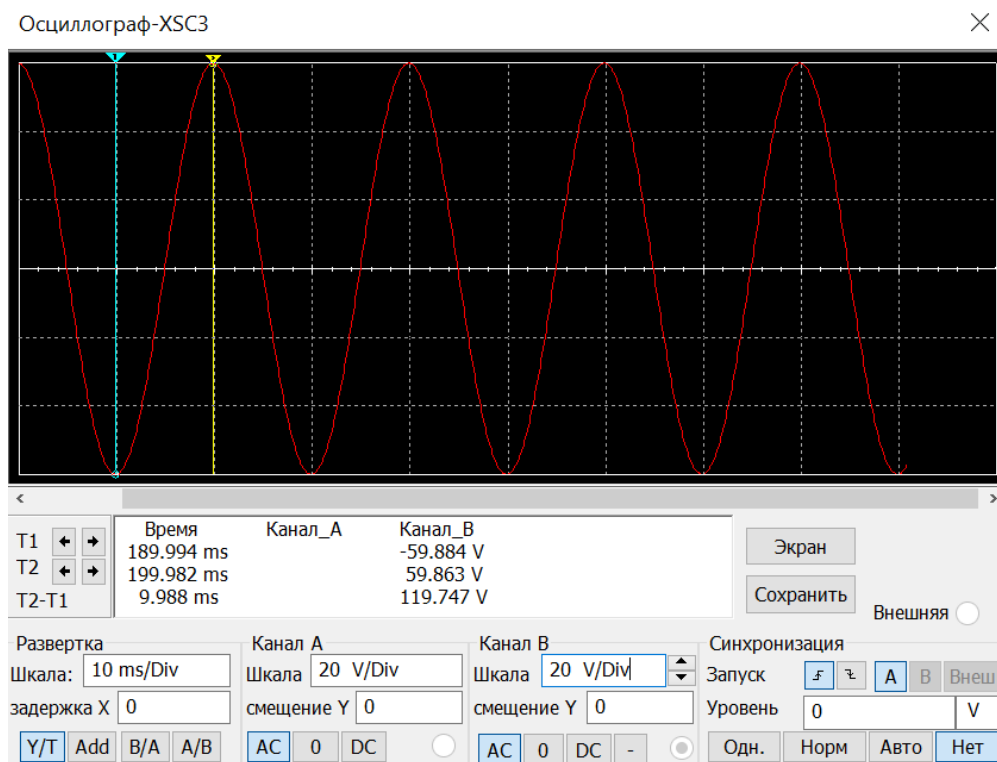


Рисунок 3.46 – Осциллограмма междуфазного напряжения АС импульсной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп в сети

Анализ осциллограмм приведенных на рисунках 3.40, 3.41, 3.42, 3.43 показывает, что при импульсной, равномерной, симметричной нагрузке в линейном и фазном напряжении, а также в токе нагрузки наблюдаются высшие гармоники, несимметрия напряжения отсутствует, частота тока нагрузки составляет 50 Гц

Расчет основных параметров качества электрической энергии производить нет необходимости, потому как при импульсном, равномерном, симметричном характере нагрузки, осциллограммы тока, фазного и междуфазного напряжений совпадают как в сети с изолированным режимом нейтрали, так и в сети с глухозаземленным режимом нейтрали. Соответственно основные параметры качества электрической энергии в сети с глухозаземленным режимом нейтрали, будут аналогичны параметрам качества электрической энергии в сети с изолированной нейтралью, и также не будут соответствовать нормам.

Можно сделать вывод, что при импульсном, равномерном, симметричном характере нагрузке, на базе светодиодных ламп, вид режима нейтрали не оказывает влияния на качество электрической энергии, а импульсный характер нагрузки оказывает существенное негативное влияние на показатели качества электрической энергии.

### 3.7 Результаты моделирования двигательной нагрузки с изолированным режимом нейтрали сети

На рисунке 3.47 представлена электрическая схема двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя, выполненная в среде Multisim.

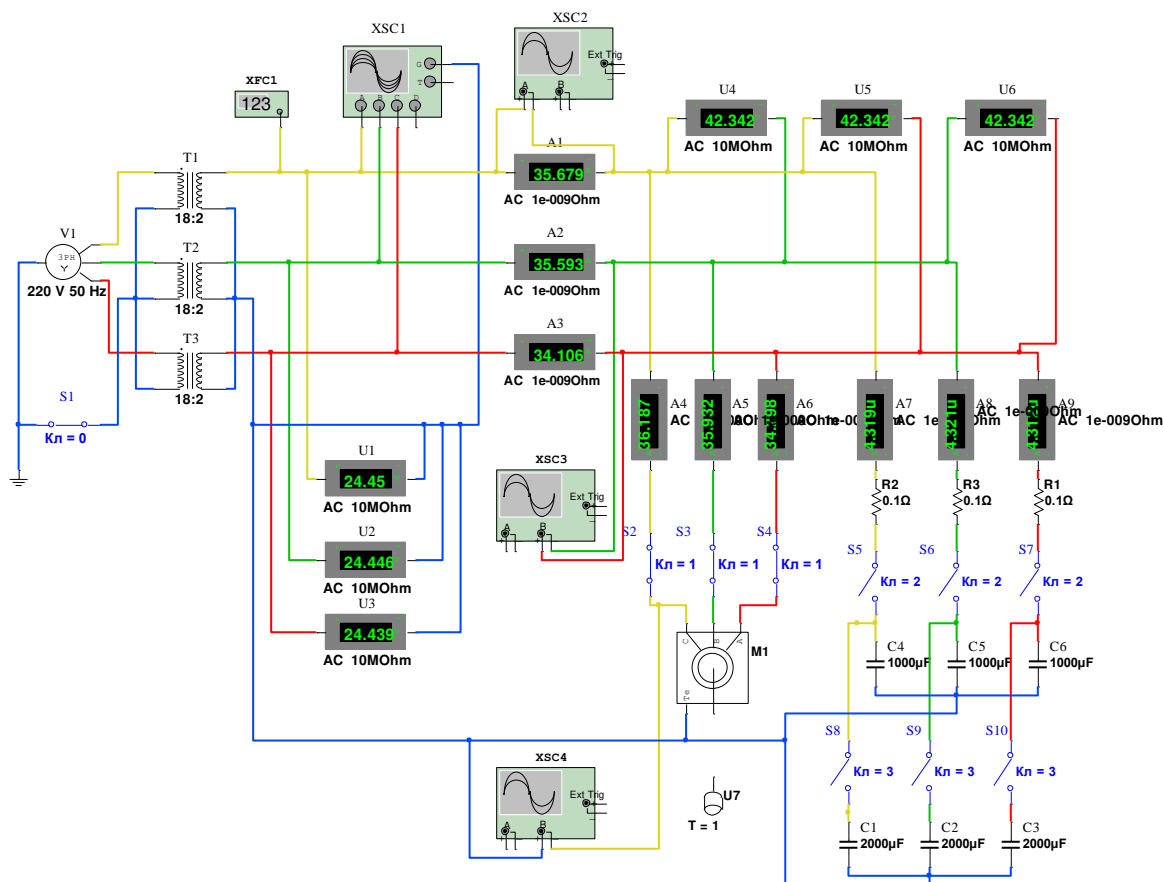


Рисунок 3.47 – Электрическая схема двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.48, 3.49, 3.50, 3.51

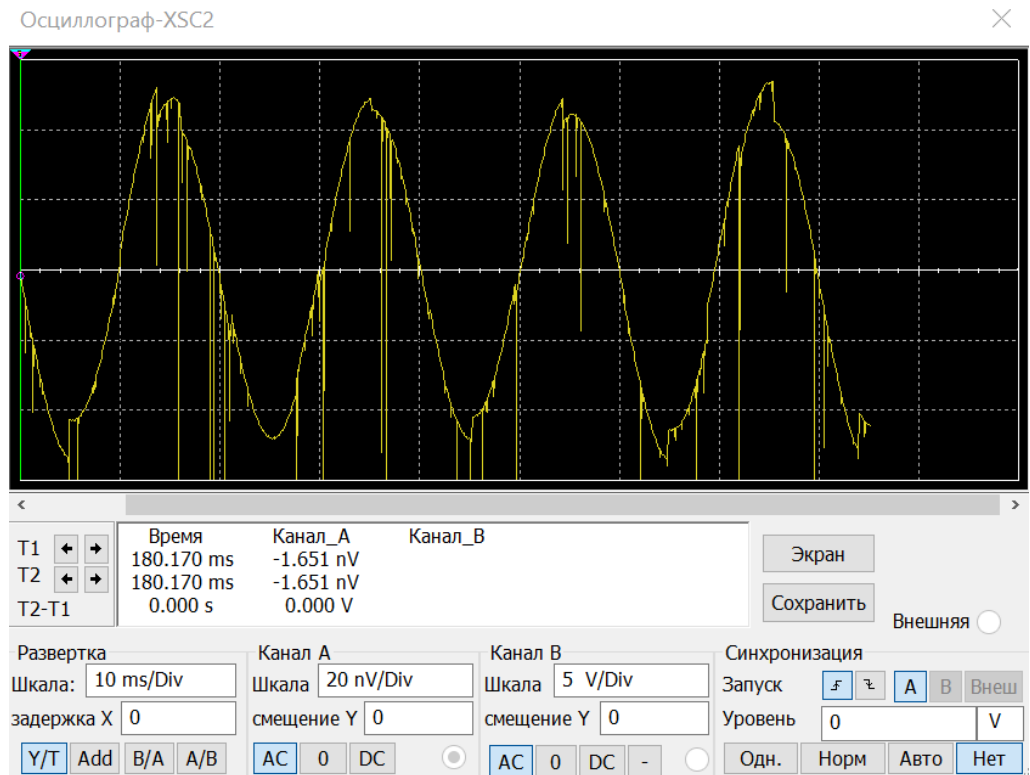


Рисунок 3.48 – Осциллограмма тока двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя

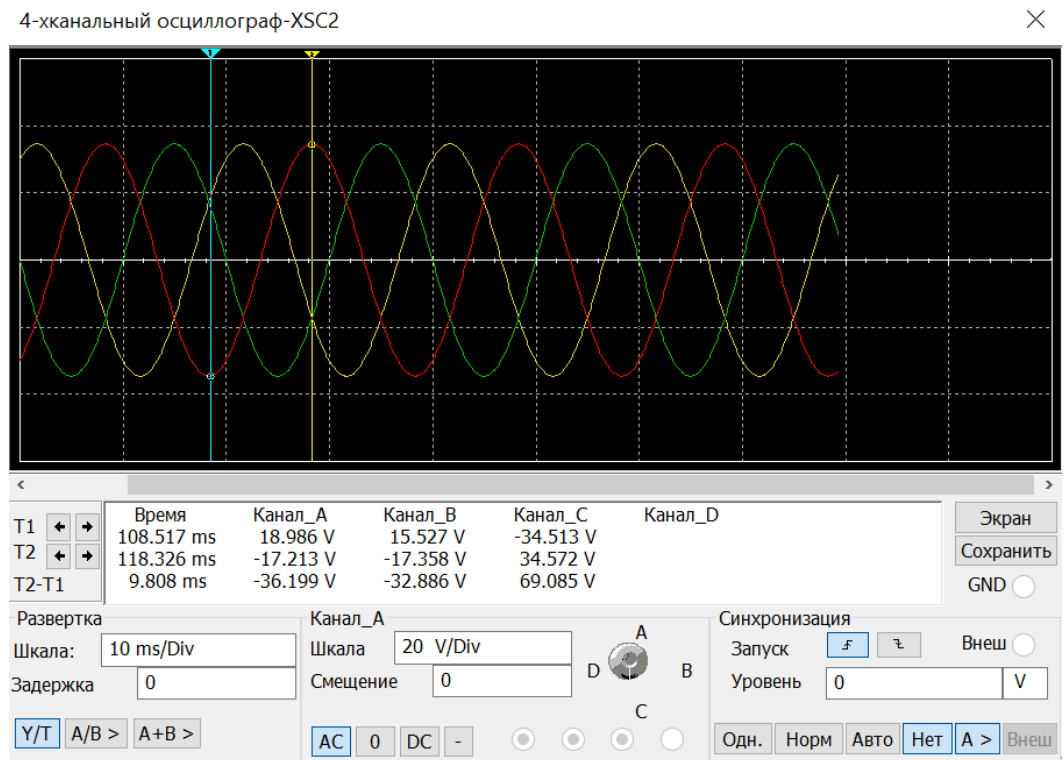


Рисунок 3.49 – Осциллограмма фазных напряжений двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя



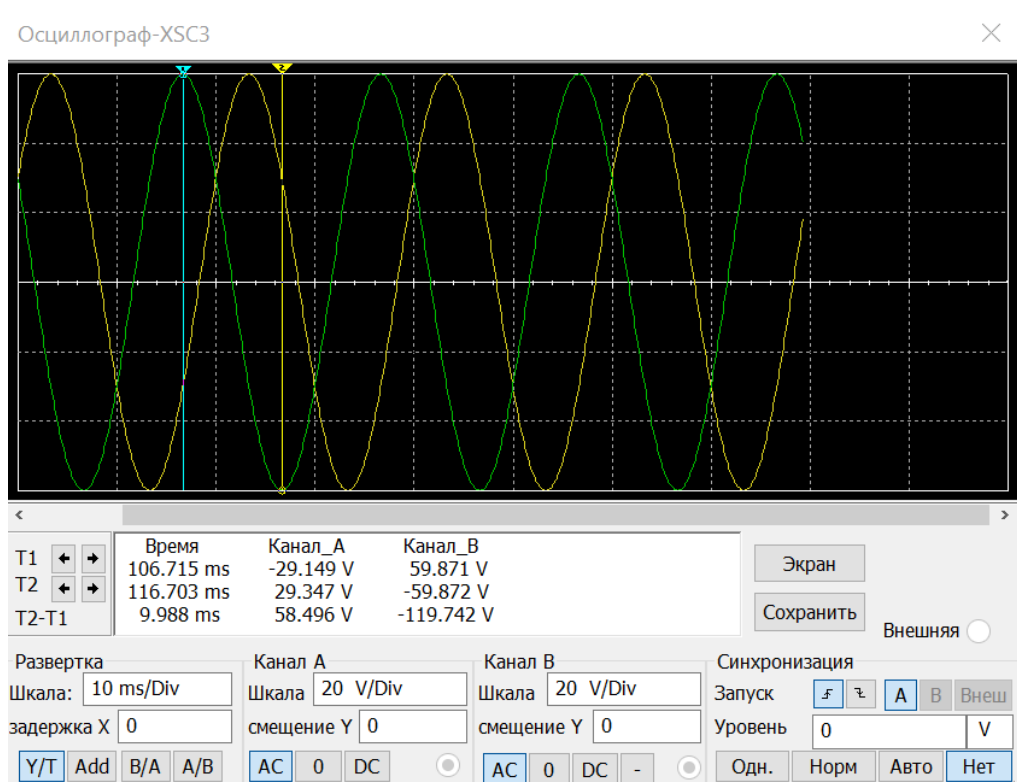


Рисунок 3.50 – Осциллограмма междуфазных напряжений АВ и ВС двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя

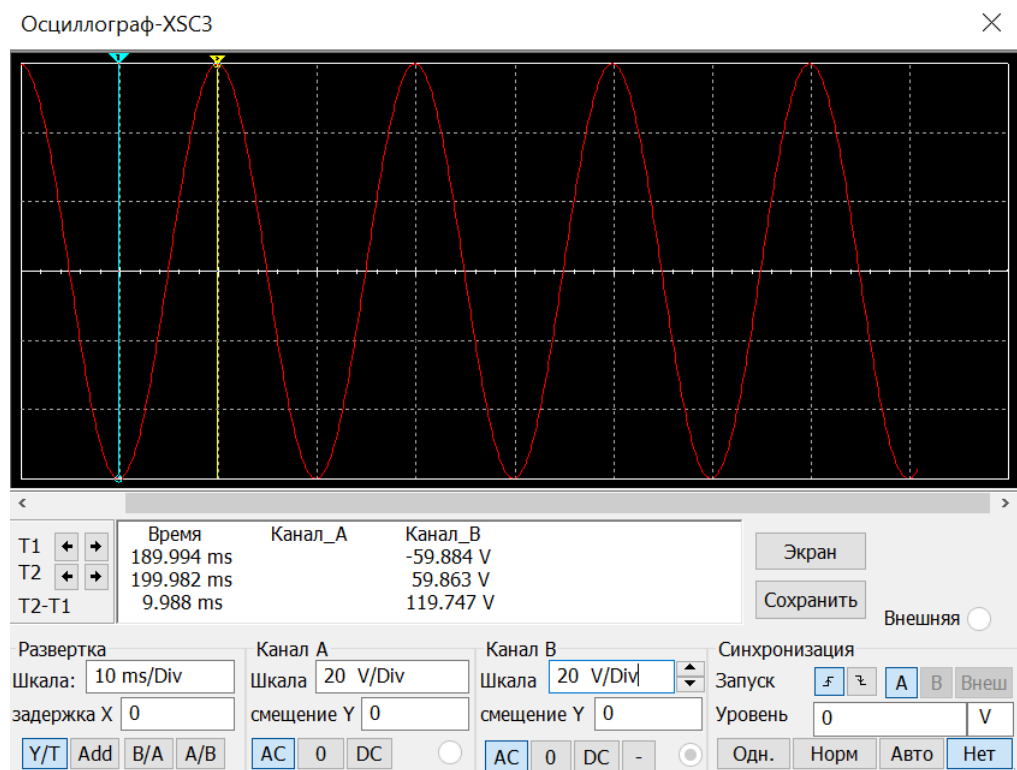


Рисунок 3.51 – Осциллограмма междуфазного напряжения АС двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя

Анализ данных осциллограмм показывает, что при двигательной нагрузке наблюдаются высшие гармоники в токе нагрузки. Современные нормативные документы не регулируют коэффициент искажения синусоидальности по току, следовательно, расчетов не производится. Наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии представлен ниже.

### **Отклонение напряжения**

Действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты  $U_{1(1)i}$  определяется по формуле (3.1):

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3} (42 + 42 + 42) = 42 \text{ В.}$$

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле (3.2):

$$\delta U_y = \frac{42-42}{42} \cdot 100\% = 0 \text{ \%}.$$

### **Колебания напряжения**

Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах определяется по формуле (3.3):

$$\delta U_t = \frac{|33 - 33|}{33} \cdot 100\% = 0 \text{ \%}$$

### **Несимметрия напряжения**

Действующее значение напряжения по обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  определяется по формуле (3.7):

$$U_{2(1)i} = 0,62(42 - 42) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  в процентах определяется по формуле (3.8):

$$K_{2U} = \frac{0}{42} \cdot 100\% = 0 \text{ \%}$$

Действующее значение напряжения по нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)i}$  определяется по формуле (3.9):

$$U_{0(1)i} = 0,62(24 - 24) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в процентах определяется по формуле (3.10):

$$K_{0U} = \frac{0}{24} \cdot 100\% = 0 \%$$

### Отклонение частоты

Значение отклонения частоты  $\Delta f$  определяется по формуле (3.11):

$$\Delta f = 50 - 50 = 0 \text{ Гц.}$$

В таблице 3.9 приведены сводные данные о качестве электроэнергии на двигательной нагрузке на базе асинхронного двигателя.

Таблица 3.9 – Данные о качестве электроэнергии

$U_{\text{ном.мф}} = 42 \text{ В}$	$U_{\text{ном.фаз}} = 24 \text{ В}$	$f_{\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$	
Показатели качества	Нормально	Предельно	Измеренное
электроэнергии	допустимое значение	допустимое значение	значение
$\delta U_y$	5%	10%	0
$\delta U_t$	-	10%	0
$K_{2U}$	2%	4%	0
$K_{0U}$	2%	4%	0
$\Delta f$	0,2 Гц	0,4 Гц	0

Анализ таблицы 3.9 показывает, что в сетях с изолированным режимом нейтрали при двигательной нагрузке качество электроэнергии соответствует нормам.

При коммутации АД наблюдаются перенапряжения, как при включении, так и при отключении. Известно [Герасимов А.И., Кузьмин С.В. “Электроснабжение промышленных предприятий”] что с ростом мощности двигателя кратность коммутационных перенапряжений снижается. Практически отсутствует информация, как зависит кратность коммутационных перенапряжений от частоты вращения магнитного поля машины. Ниже приведены осциллограммы фазных напряжений АД с угловой скоростью вращения 3000, 1500, 1000, 750 об/мин, на рисунках 3.52, 3.53, 3.54, 3.55 соответственно, при коммутации.

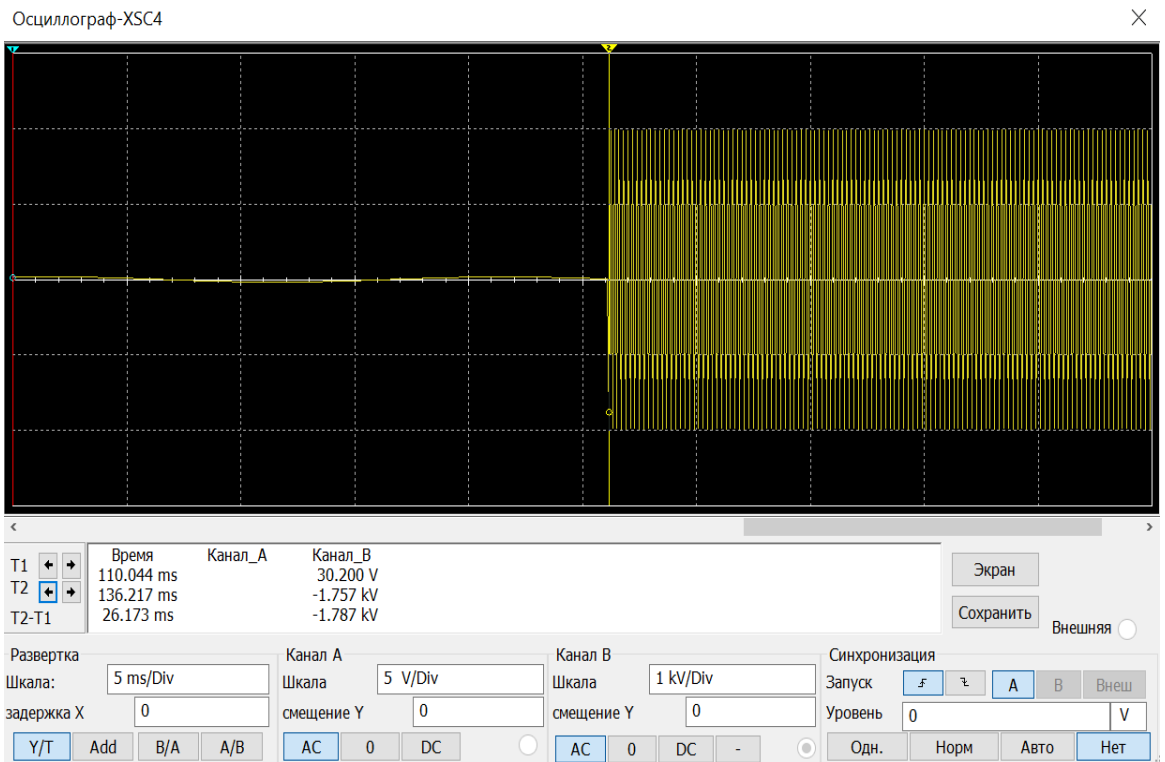


Рисунок 3.52 – Осциллограмма фазного напряжения двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя с угловой скоростью вращения 3000об/мин при коммутации

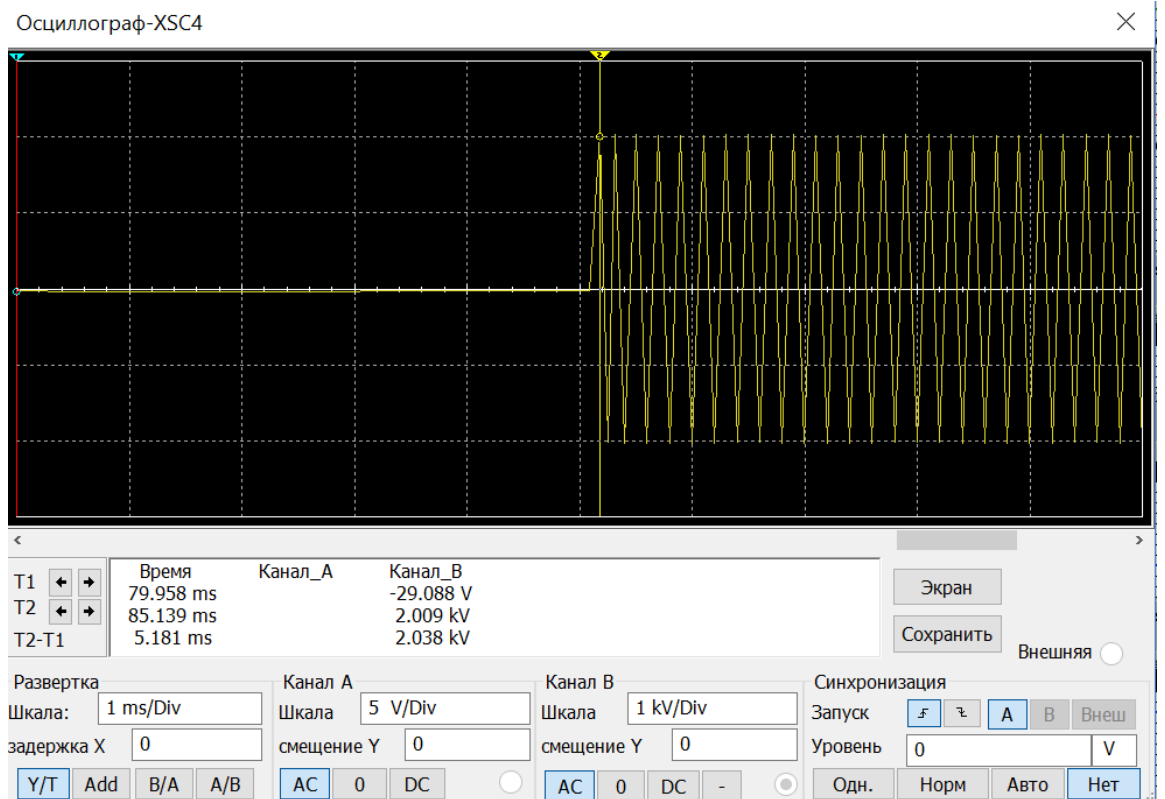


Рисунок 3.53 – Осциллограмма фазного напряжения двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя с угловой скоростью вращения 1500об/мин при коммутации

Осциллограф-XSC4

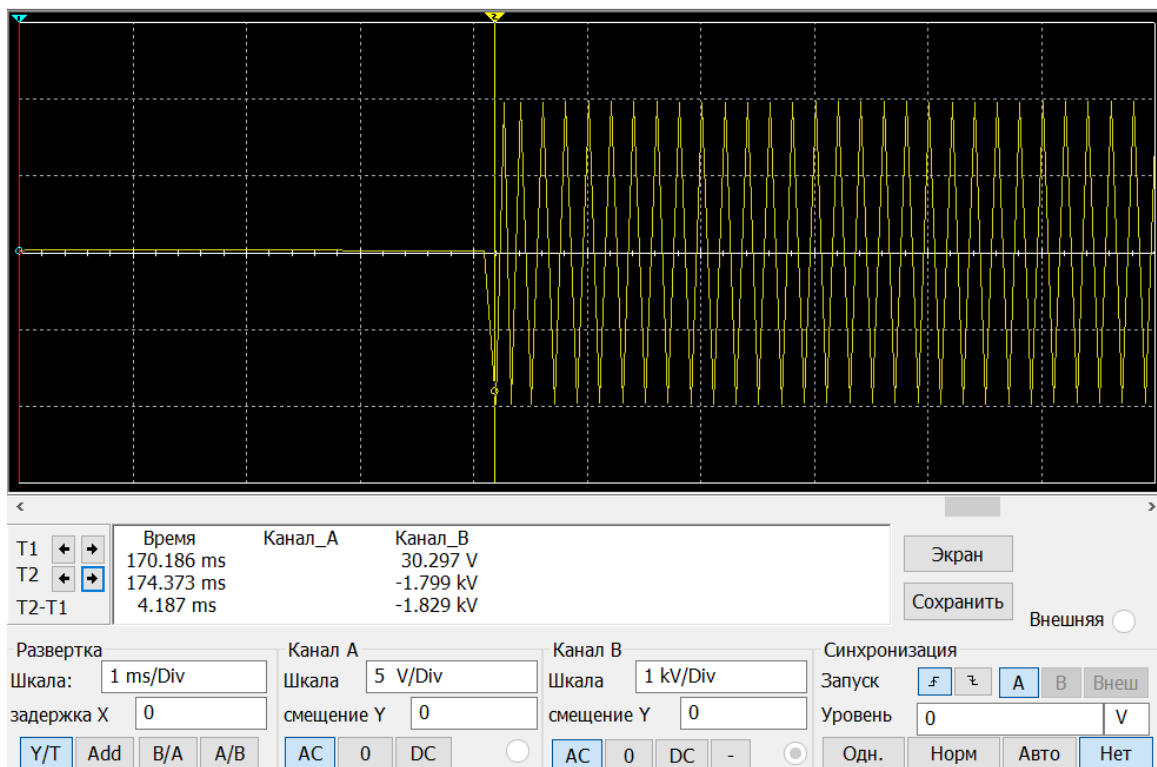


Рисунок 3.54 – Осциллограммa фазного напряжения двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя с угловой скоростью вращения 1000 об/мин при коммутации

Осциллограф-XSC4

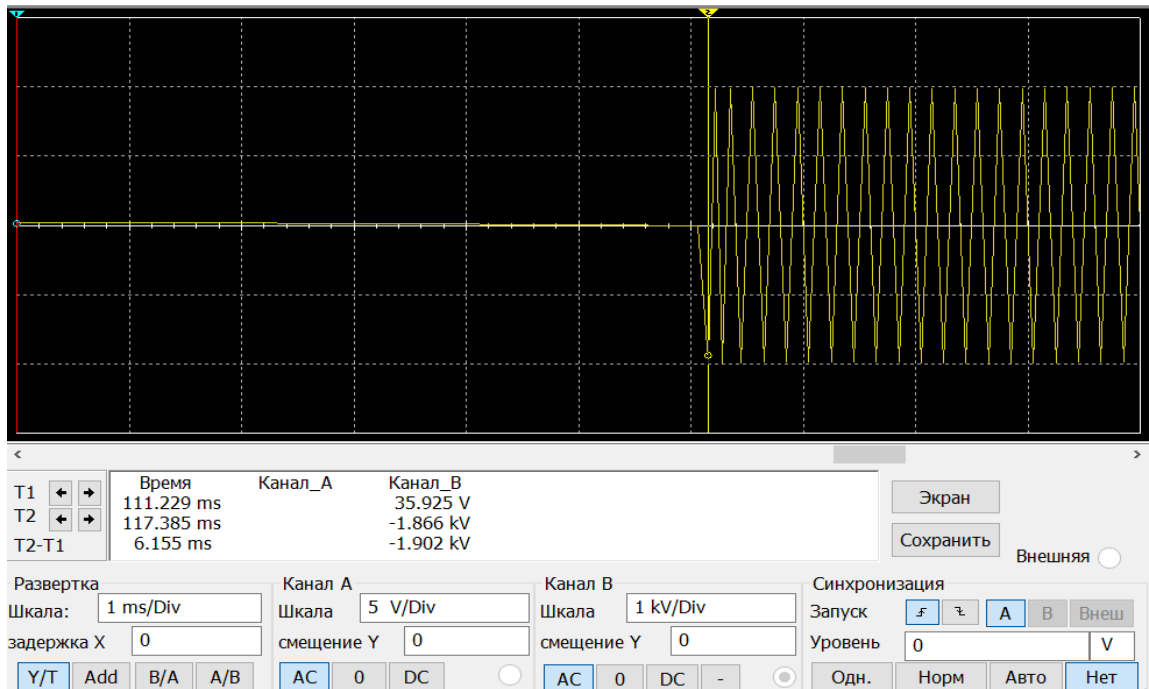


Рисунок 3.55 – Осциллограммa фазного напряжения двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя с угловой скоростью вращения 750 об/мин при коммутации

Результаты моделирования двигательной нагрузки на основе асинхронного двигателя, в сети с изолированным режимом нейтрали, показали, что характер двигательной нагрузки не оказывает влияния на показатели качества электрической энергии, предусмотренные ГОСТ 32144-2013, однако наблюдаются значительные искажения синусоидальности кривой тока и коммутационные перенапряжения.

### 3.8 Результаты моделирования двигательной нагрузки с глухозаземленным режимом нейтрали сети

На рисунке 3.56 представлена электрическая схема двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя, выполненная в среде Multisim.

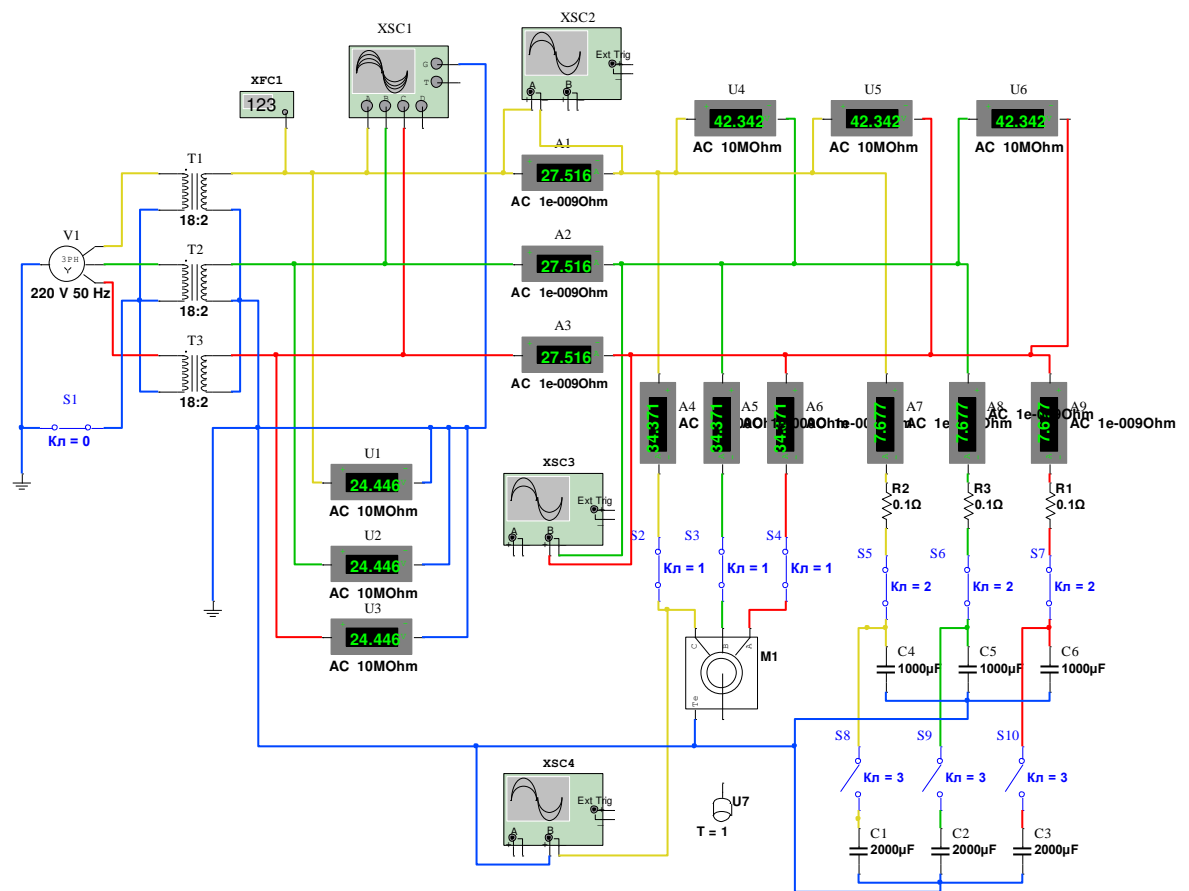


Рисунок 3.56 – Электрическая схема двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.57, 3.58, 3.59, 3.60

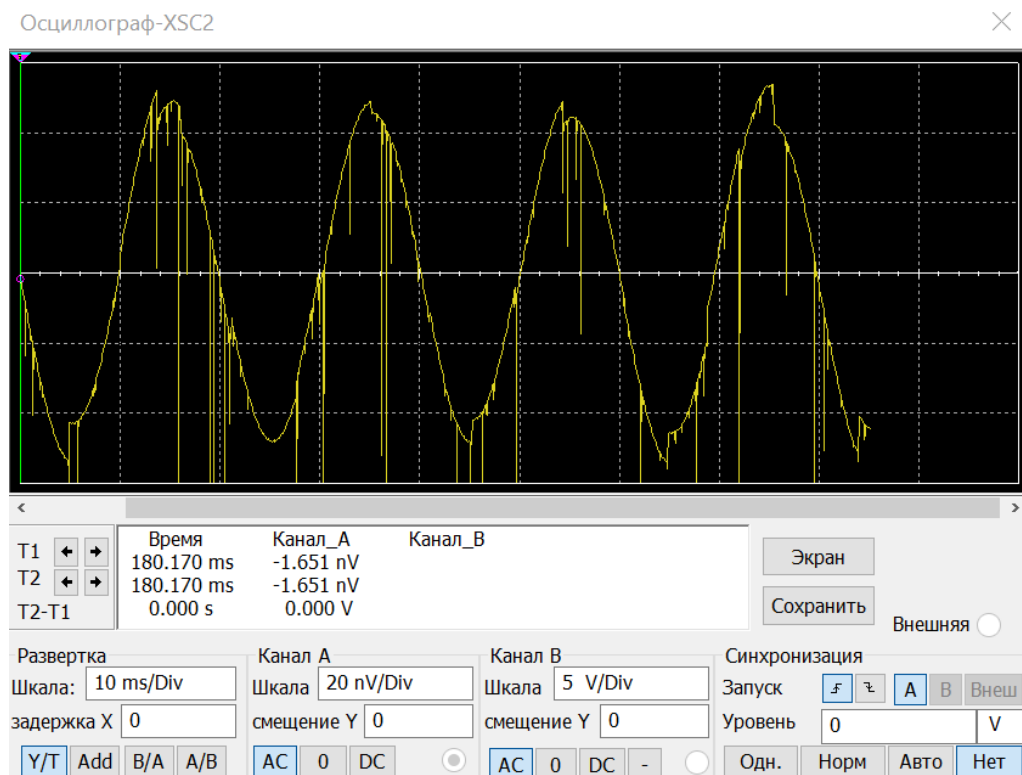


Рисунок 3.57 – Осциллограмма тока двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя

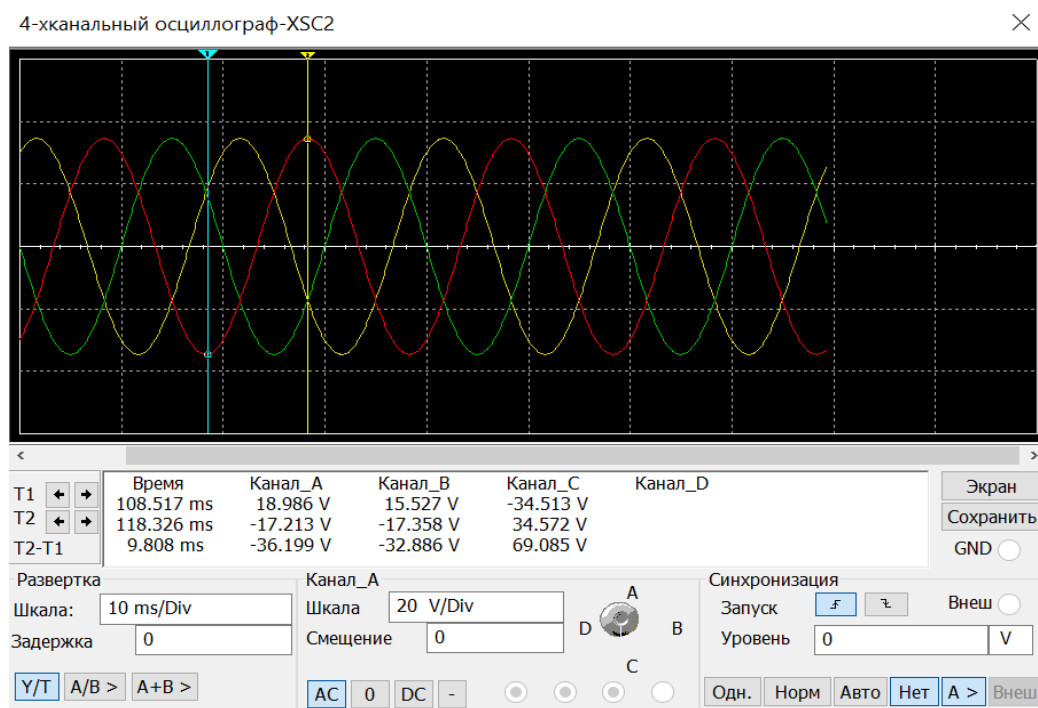


Рисунок 3.58 – Осциллограмма фазных напряжений двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя



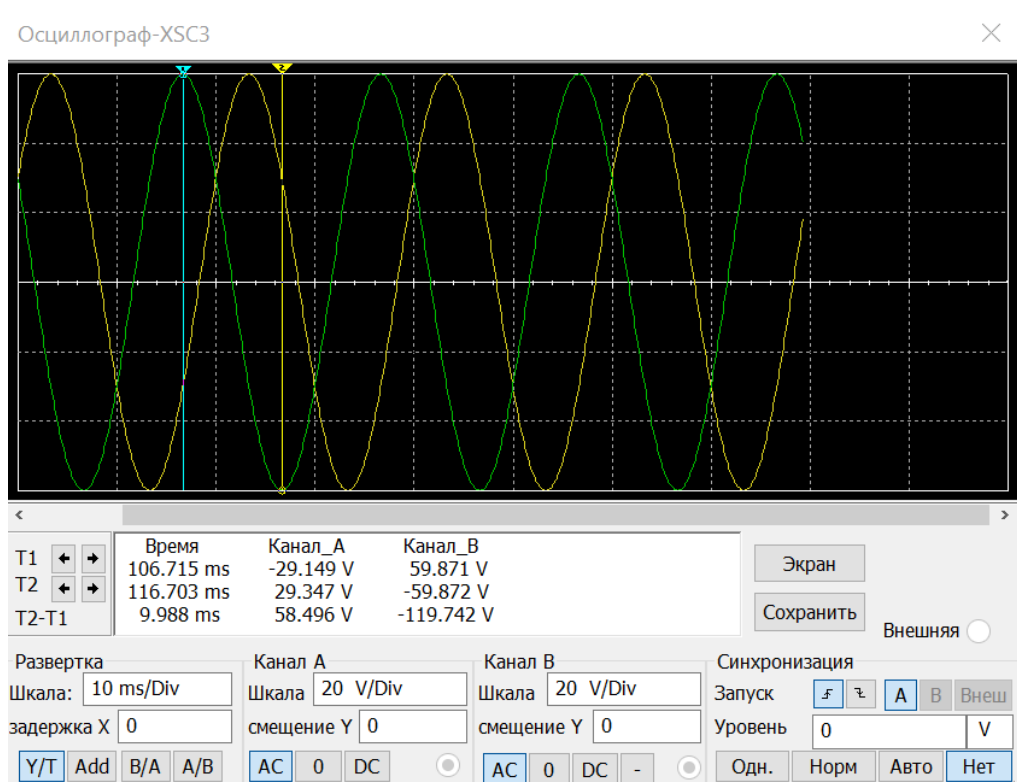


Рисунок 3.59 – Осциллограмма междофазных напряжений АВ и ВС двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя

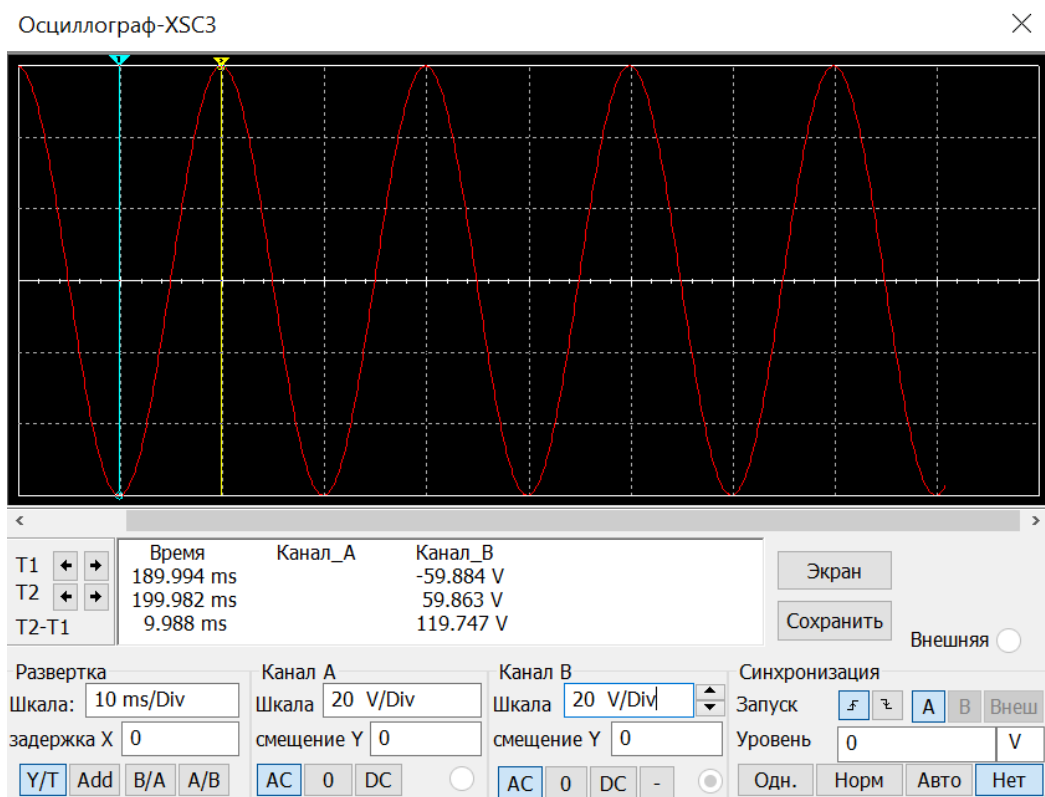


Рисунок 3.60 – Осциллограмма междофазного напряжения АС двигательной нагрузки на базе асинхронного двигателя



При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.62, 3.63, 3.64, 3.65

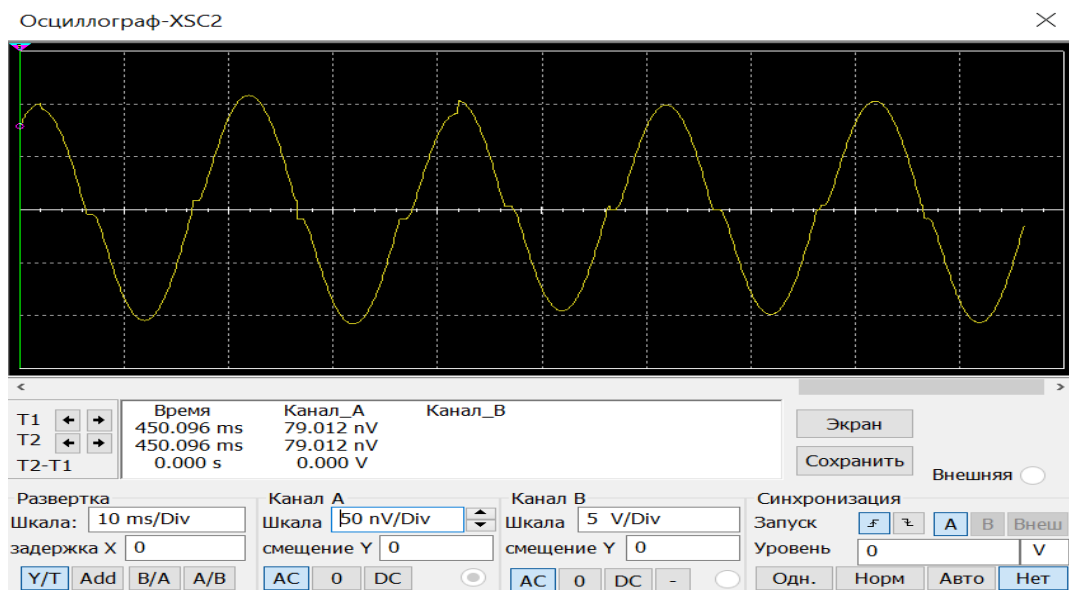


Рисунок 3.62 – Осциллограмма тока нагрузки преобразователь – двигатель на базе ДПТ

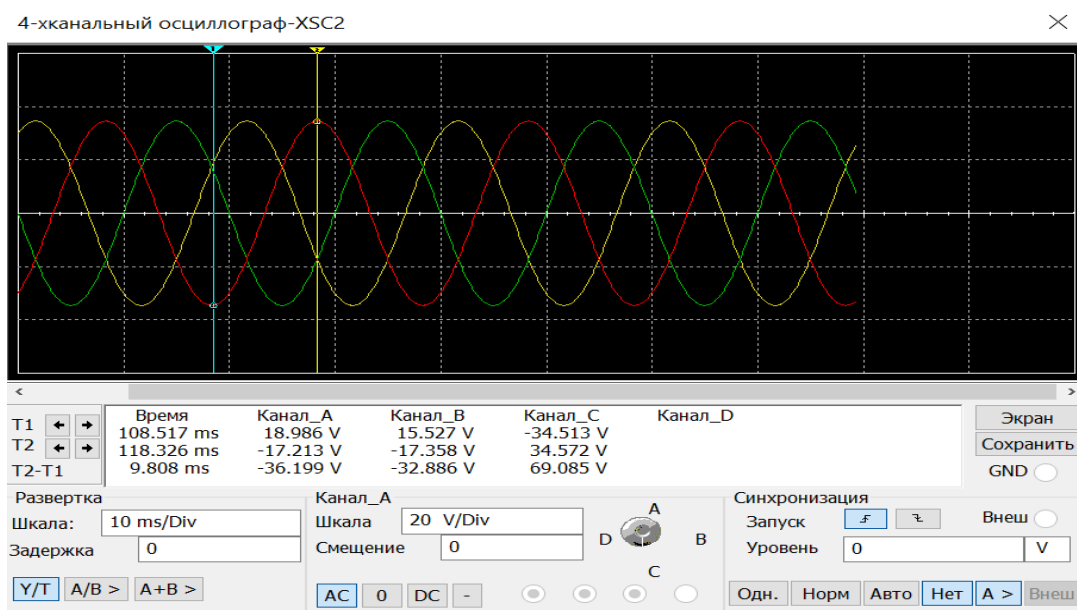


Рисунок 3.63 – Осциллограмма фазных напряжений нагрузки преобразователь – двигатель на базе ДПТ

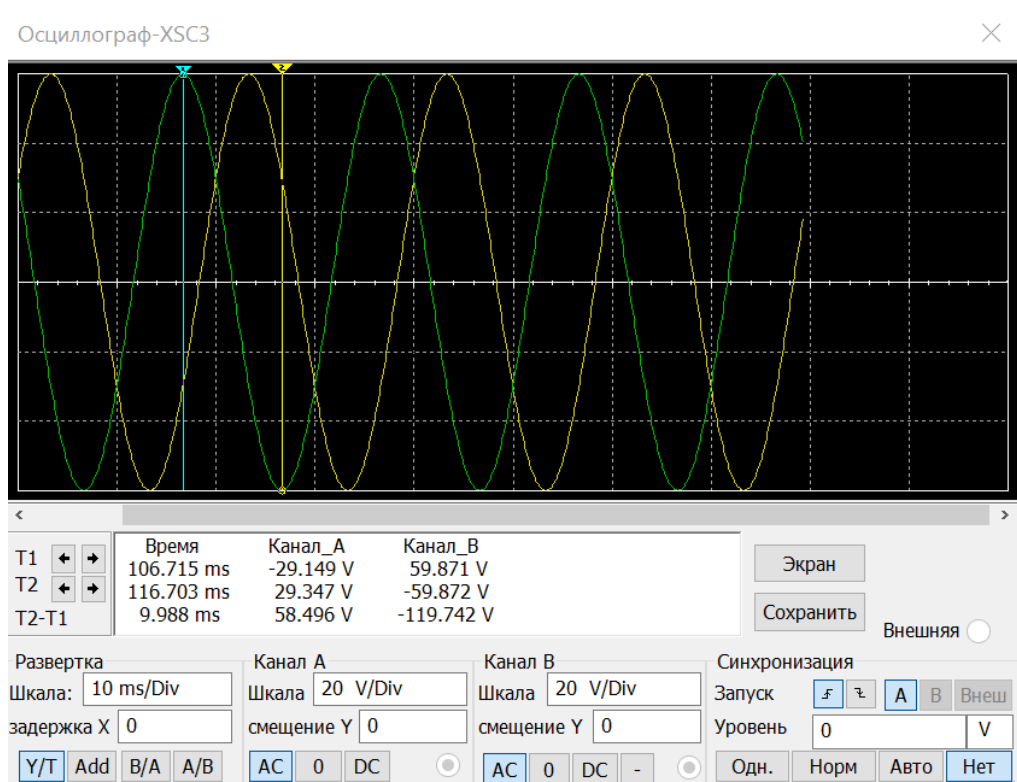


Рисунок 3.64 – Осциллограмма междофазных напряжений АВ и ВС нагрузки преобразователь – двигатель на базе ДПТ

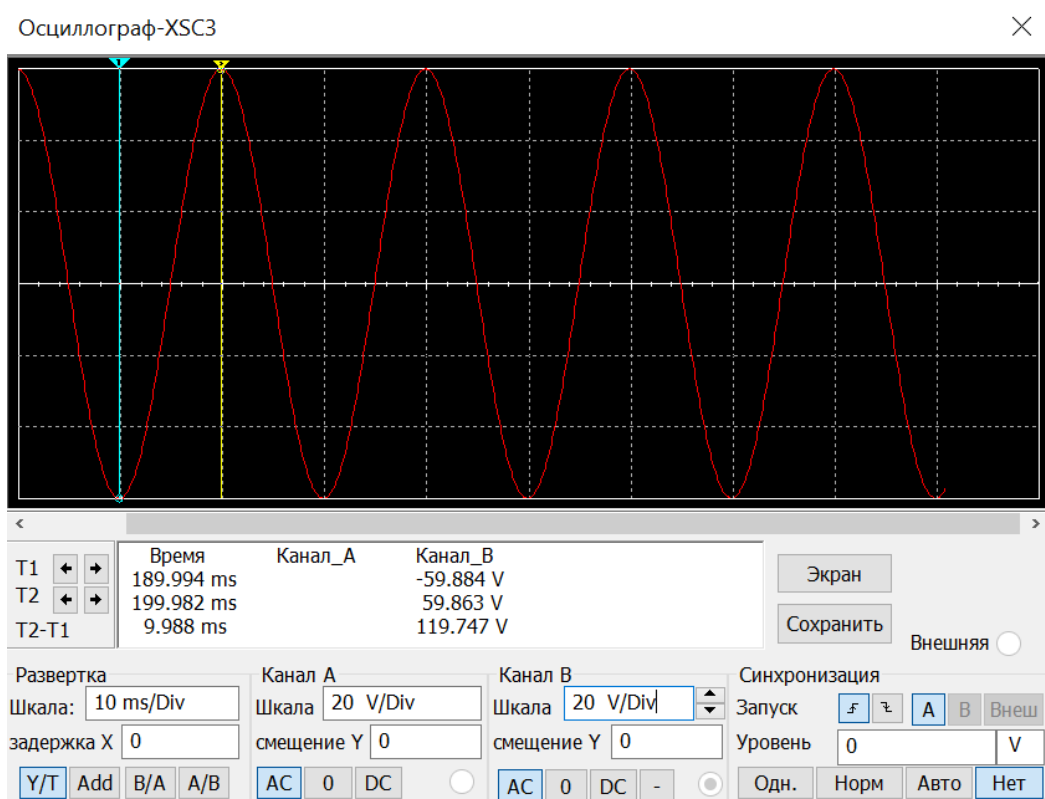


Рисунок 3.65 – Осциллограмма междофазного напряжения АС нагрузки преобразователь – двигатель на ДПТ

Анализ данных осциллограмм показывает, что при двигательной нагрузке наблюдаются высшие гармоники в токе нагрузки. Наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии представлен ниже.

### **Отклонение напряжения**

Действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты  $U_{1(1)i}$  определяется по формуле (3.1):

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3}(42 + 42 + 42) = 42 \text{ В.}$$

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле (3.2):

$$\delta U_y = \frac{42-42}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Колебания напряжения**

Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах определяется по формуле (3.3):

$$\delta U_t = \frac{|33 - 33|}{33} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Несимметрия напряжения**

Действующее значение напряжения по обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  определяется по формуле (3.7):

$$U_{2(1)i} = 0,62(42 - 42) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  в процентах определяется по формуле (3.8):

$$K_{2U} = \frac{0}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

Действующее значение напряжения по нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)i}$  определяется по формуле (3.9):

$$U_{0(1)i} = 0,62(24 - 24) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в процентах определяется по формуле (3.10):

$$K_{0U} = \frac{0}{24} \cdot 100\% = 0 \%$$

### Отклонение частоты

Значение отклонения частоты  $\Delta f$  определяется по формуле (3.11):

$$\Delta f = 50 - 50 = 0 \text{ Гц.}$$

В таблице 3.10 приведены сводные данные о качестве электроэнергии на нагрузке преобразователь – двигатель на базе ДПТ.

Таблица 3.10 – Данные о качестве электроэнергии

$U_{\text{ном.мф}} = 42 \text{ В}$	$U_{\text{ном.фаз}} = 24 \text{ В}$	$f_{\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$	
Показатели качества электроэнергии	Нормально допустимое значение	Предельно допустимое значение	Измеренное значение
$\delta U_y$	5%	10%	0
$\delta U_t$	-	10%	0
$K_{2U}$	2%	4%	0
$K_{0U}$	2%	4%	0
$\Delta f$	0,2Гц	0,4Гц	0

Анализ таблицы 3.10 показывает, что в сетях с изолированным режимом нейтрали при нагрузке преобразователь – двигатель качество электроэнергии соответствует нормам.

Результаты моделирования двигательной нагрузки на основе ДПТ, в сети с изолированным режимом нейтрали, показали, что характер двигательной нагрузки не оказывает влияния на показатели качества электрической энергии, предусмотренные ГОСТ 32144-2013, однако наблюдаются искажения синусоидальности кривой тока.

### 3.10 Результаты моделирования нагрузки преобразователь – двигатель с глухозаземленным режимом нейтрали сети

На рисунке 3.66 представлена электрическая схема нагрузки преобразователь – двигатель на базе двигателей постоянного тока (ДПТ), выполненная в среде Multisim.

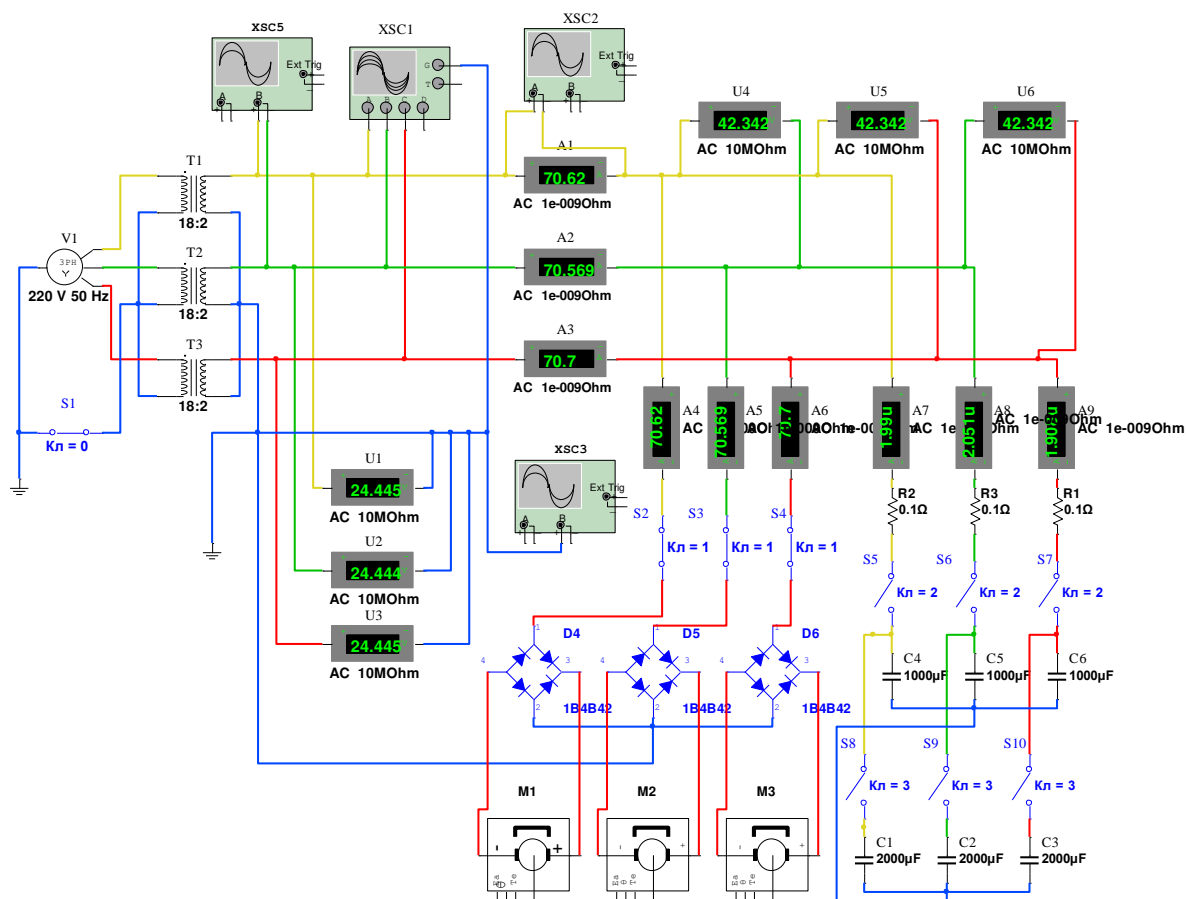


Рисунок 3.66 – Электрическая схема нагрузки преобразователь – двигатель на базе ДПТ в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.67, 3.68, 3.69, 3.70

Осциллограф-XSC2

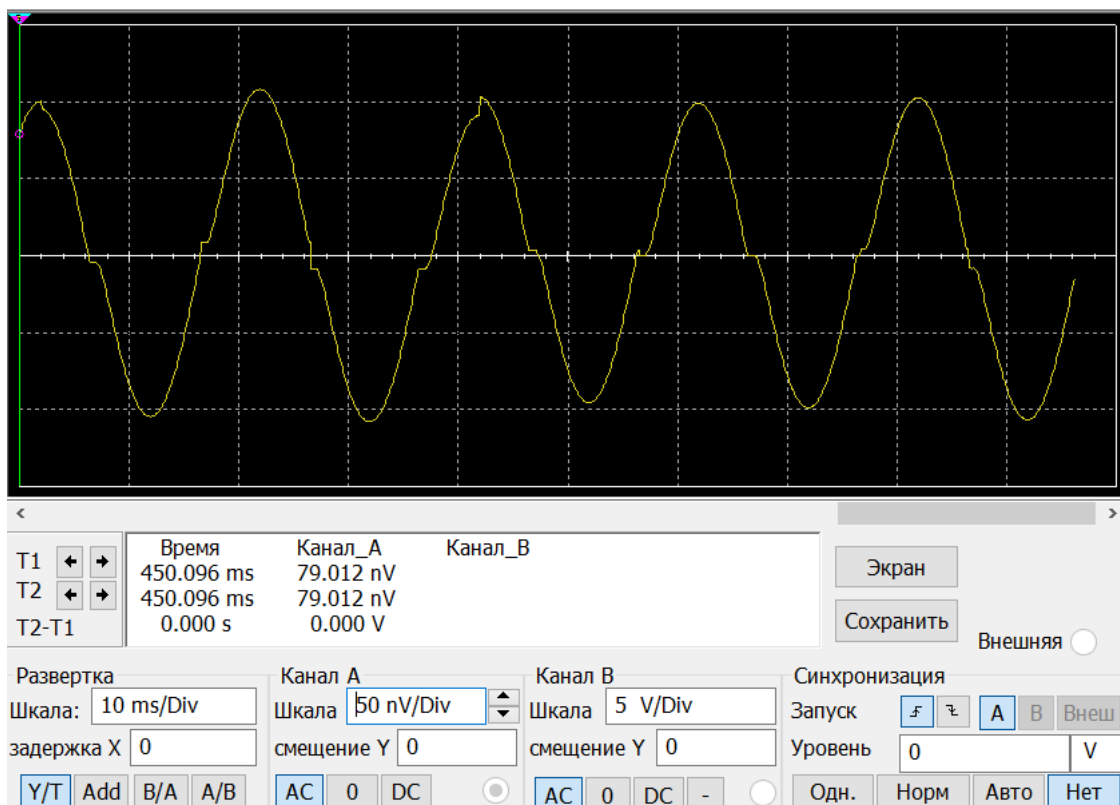


Рисунок 3.67 – Осциллограмма тока нагрузки преобразователь – двигатель на базе ДПТ

4-канальный осциллограф-XSC2

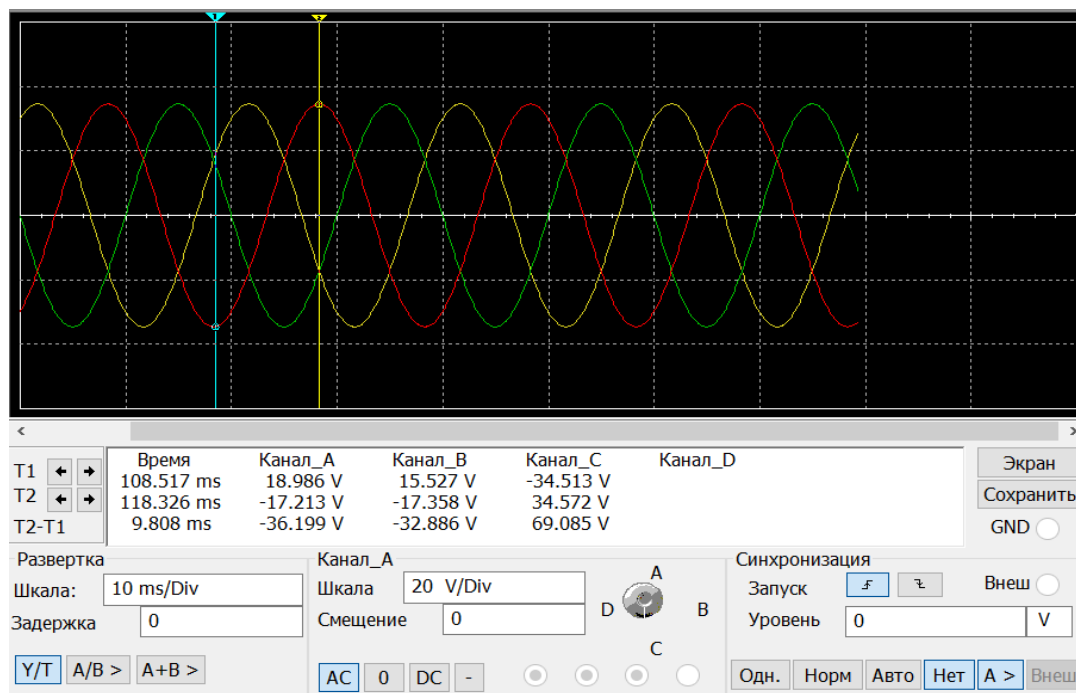


Рисунок 3.68 – Осциллограмма фазных напряжений нагрузки преобразователь – двигатель на базе ДПТ



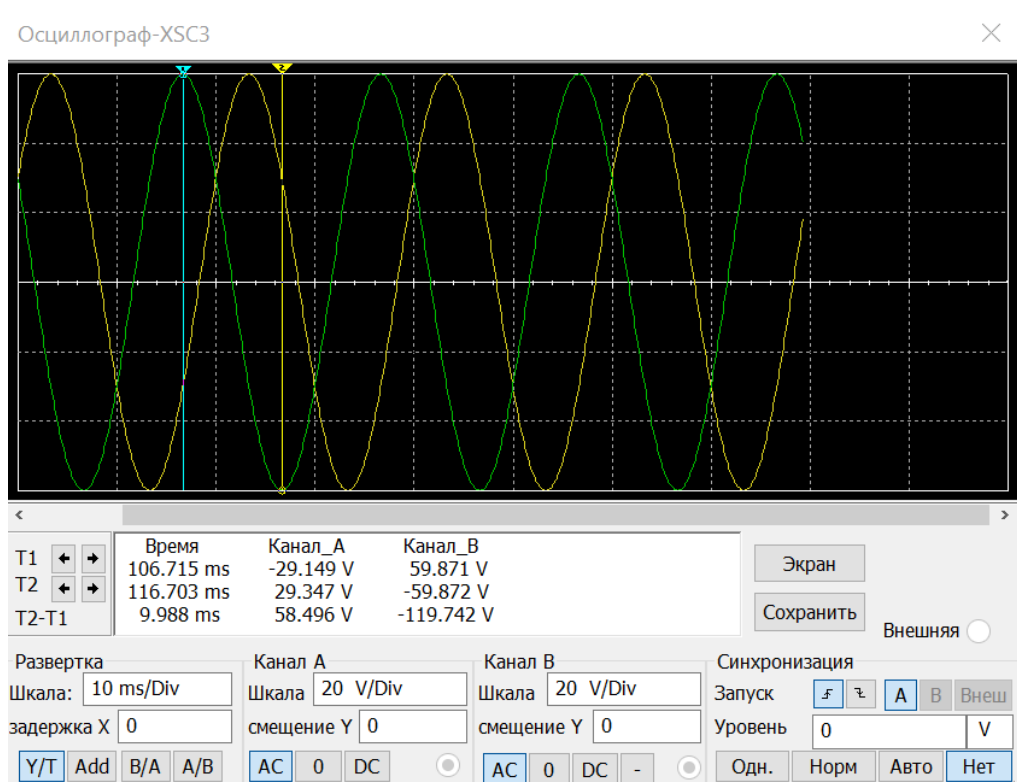


Рисунок 3.69 – Осциллограмма междупазных напряжений АВ и ВС нагрузки преобразователь – двигатель на базе ДПТ

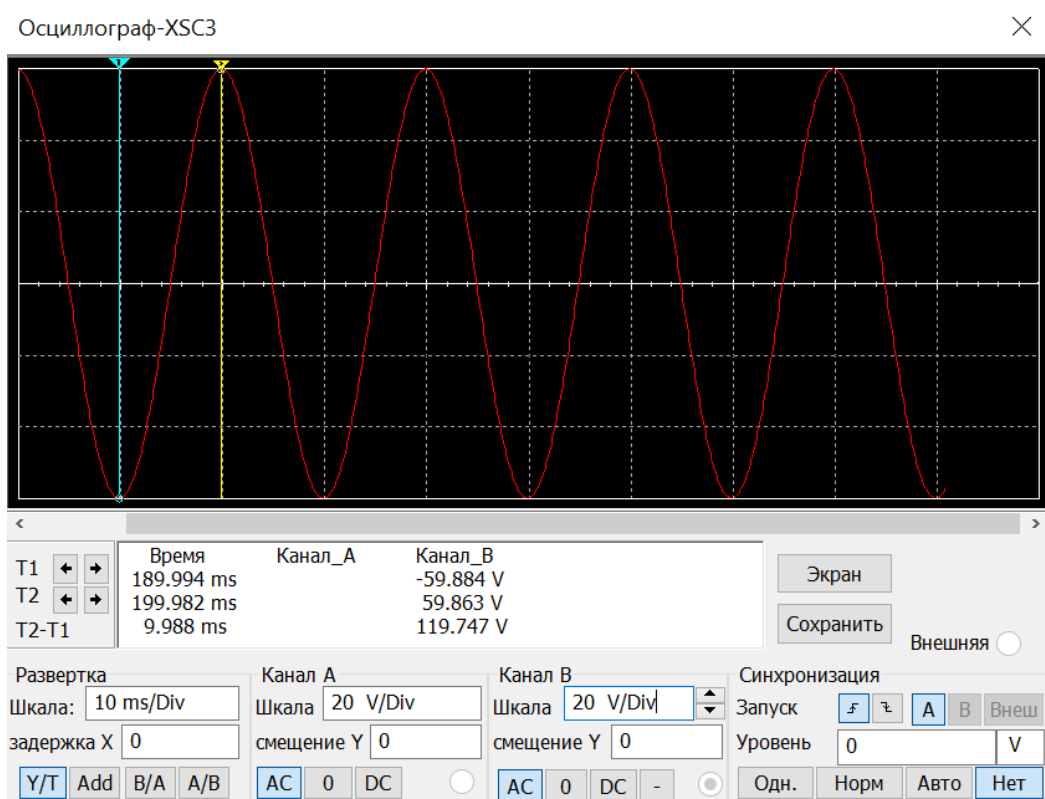


Рисунок 3.70 – Осциллограмма междупазного напряжения АС нагрузки преобразователь – двигатель на ДПТ

Анализ данных осциллограмм показывает, что при нагрузке преобразователь – двигатель наблюдаются высшие гармоники в токе нагрузки. Наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии производить нет необходимости, как и моделировать коммутационные перенапряжения, потому как из выше приведенных осциллограмм можно сделать вывод, что при характере нагрузки преобразователь – двигатель, на базе ДПТ, вид режима нейтрали не оказывает влияния на качество электрической энергии.

### 3.11 Результаты моделирования импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки с изолированным режимом нейтрали сети

На рисунке 3.71 представлена электрическая схема импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания, выполненная в среде Multisim.

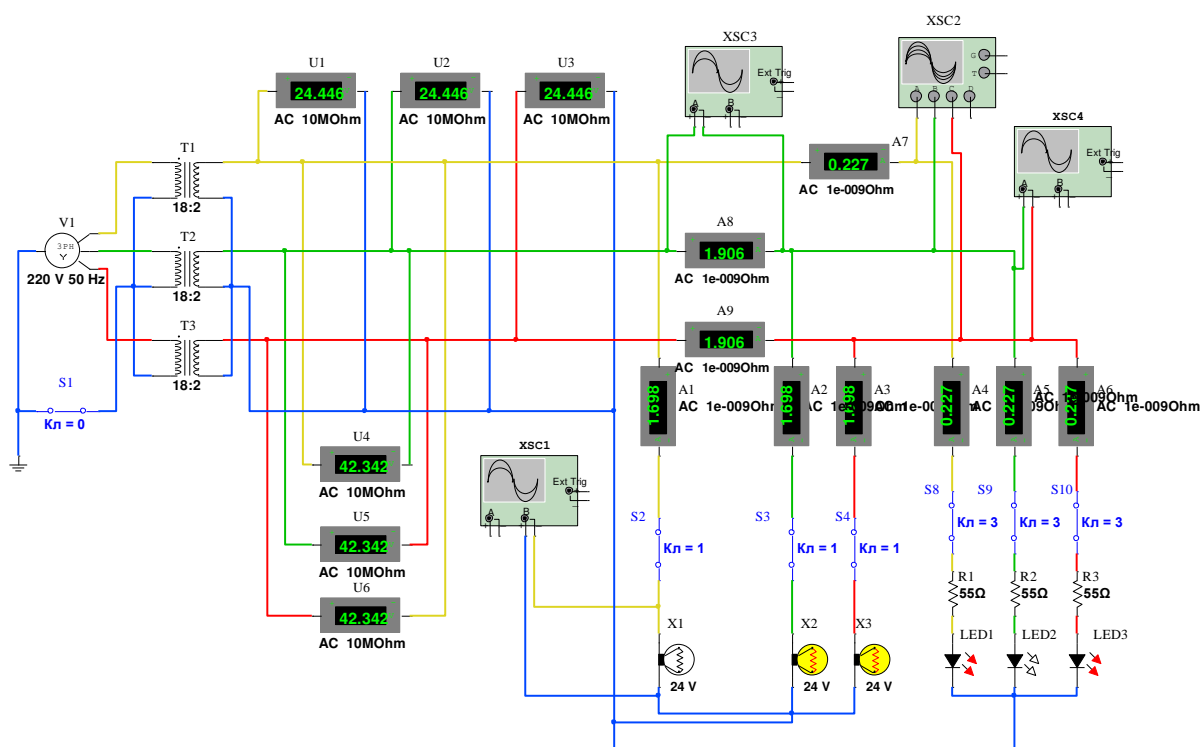


Рисунок 3.71 – Электрическая схема импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.72, 3.73, 3.74, 3.75

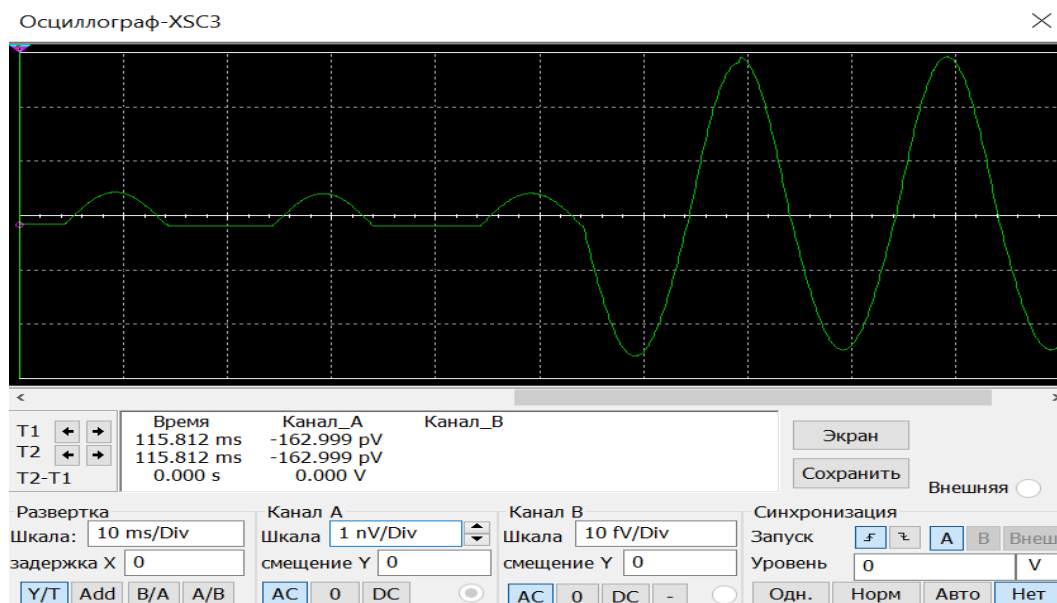


Рисунок 3.72 – Осциллограмма тока импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания

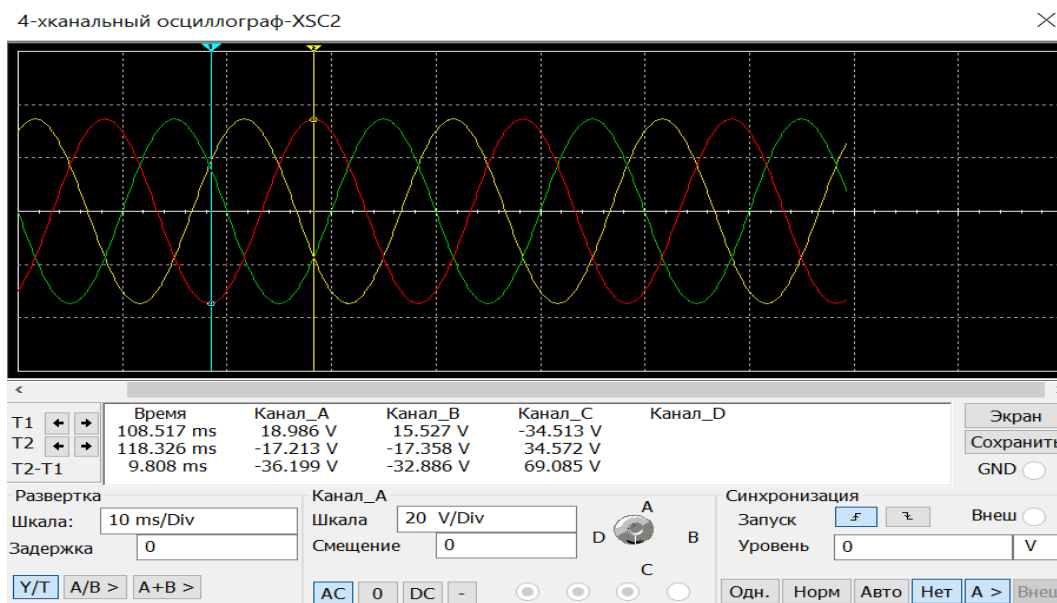


Рисунок 3.73 – Осциллограмма фазных напряжений импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания

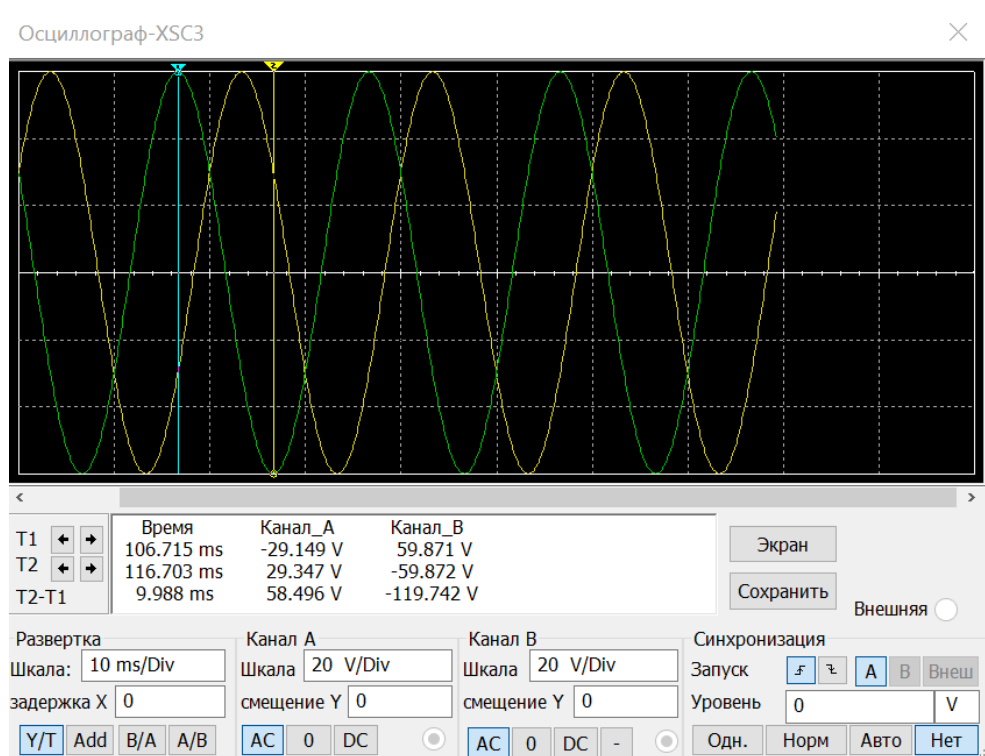


Рисунок 3.74 – Осциллограмма междуфазных напряжений АВ и ВС импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания

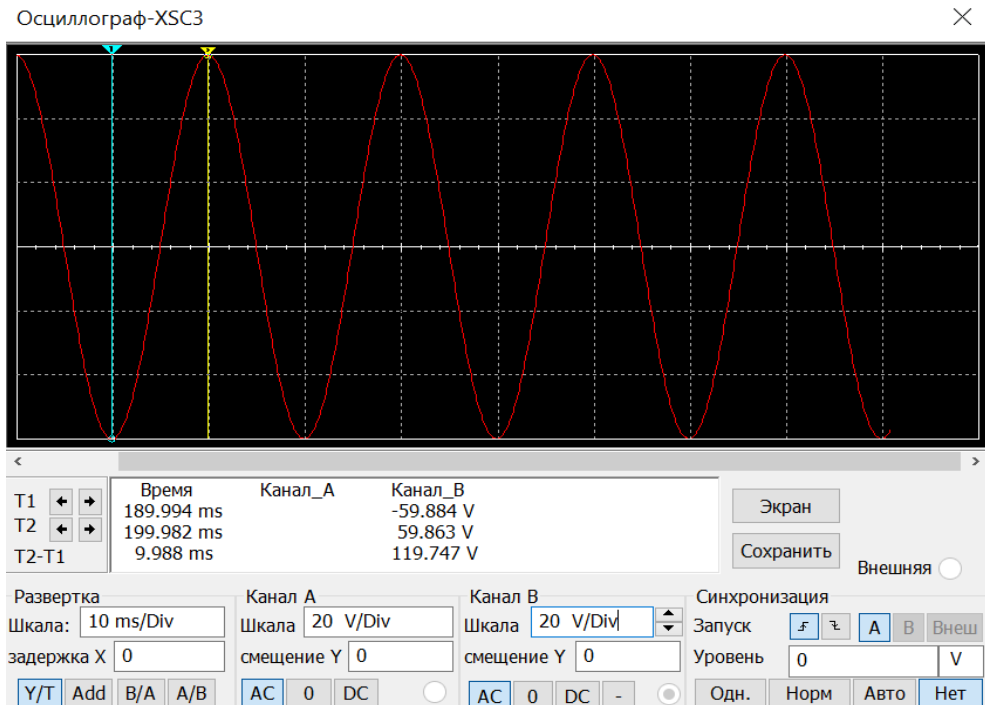


Рисунок 3.75 – Осциллограмма междуфазного напряжения АС импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания

Анализ данных осциллограмм показывает, что при импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузке на базе светодиодных ламп и ламп накаливания высшие гармоники присутствуют по току, но при включении параллельно ламп накаливания, достаточной мощности, искажения синусоиды тока сглаживаются. Наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии представлен ниже.

### **Отклонение напряжения**

Действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты  $U_{1(1)i}$  определяется по формуле (3.1):

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3}(42 + 42 + 42) = 42 \text{ В.}$$

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле (3.2):

$$\delta U_y = \frac{42-42}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Колебания напряжения**

Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах определяется по формуле (3.3):

$$\delta U_t = \frac{|33 - 33|}{33} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Несимметрия напряжения**

Действующее значение напряжения по обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  определяется по формуле (3.7):

$$U_{2(1)i} = 0,62(42 - 42) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  в процентах определяется по формуле (3.8):

$$K_{2U} = \frac{0}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

Действующее значение напряжения по нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)i}$  определяется по формуле (3.9):

$$U_{0(1)i} = 0,62(24 - 24) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в процентах определяется по формуле (3.10):

$$K_{0U} = \frac{0}{24} \cdot 100\% = 0 \%$$

### Отклонение частоты

Значение отклонения частоты  $\Delta f$  определяется по формуле (3.11):

$$\Delta f = 50 - 50 = 0 \text{ Гц.}$$

В таблице 3.11 приведены сводные данные о качестве электроэнергии на импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузке на базе светодиодных ламп и ламп накаливания.

Таблица 3.11 – Данные о качестве электроэнергии

$U_{\text{ном.мф}} = 42 \text{ В}$	$U_{\text{ном.фаз}} = 24 \text{ В}$	$f_{\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$	
Показатели качества электроэнергии	Нормально допустимое значение	Предельно допустимое значение	Измеренное значение
$\delta U_y$	5%	10%	0
$\delta U_t$	-	10%	0
$K_{2U}$	2%	4%	0
$K_{0U}$	2%	4%	0
$\Delta f$	0,2 Гц	0,4 Гц	0

Анализ таблицы 3.11 показывает, что в сетях с изолированным режимом нейтрали при импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузке качество электроэнергии соответствует нормам.

Результаты моделирования импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на основе светодиодных ламп и ламп накаливания, в сети с изолированным режимом нейтрали, показали, что при включении параллельно ламп накаливания определенной мощности несинусоидальность тока нагрузки может быть исключена.

На рисунке 3.76 представлена электрическая схема импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и электрических конденсаторов, выполненная в среде Multisim.

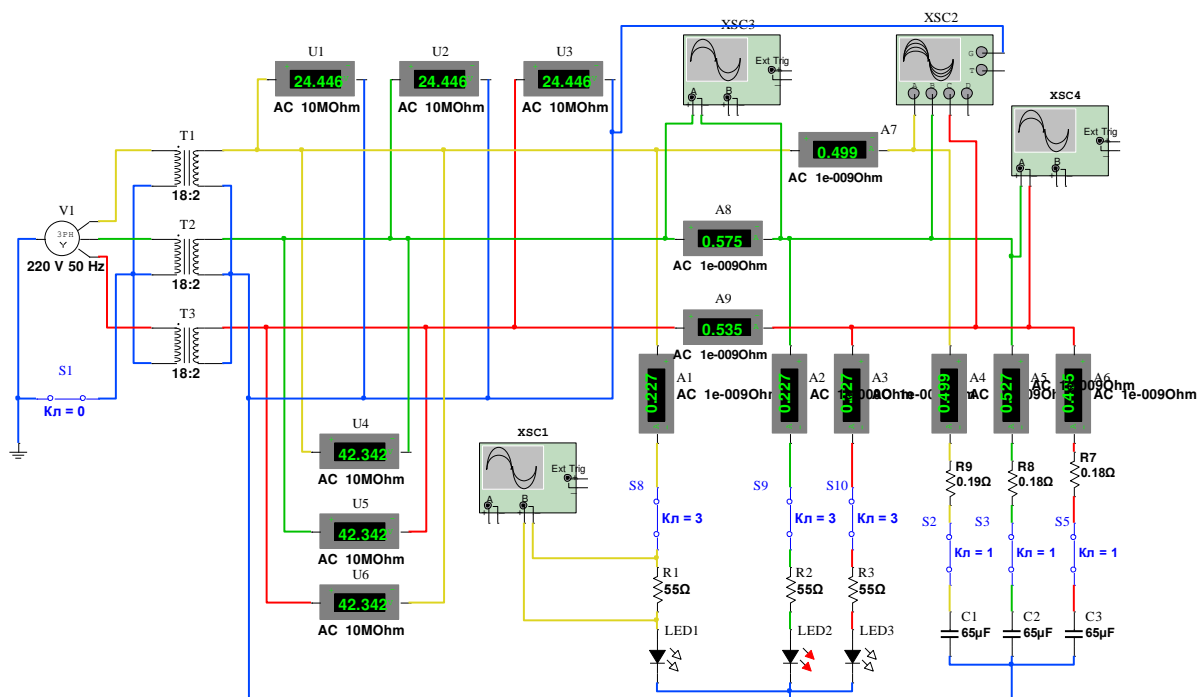


Рисунок 3.76 – Электрическая схема импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и конденсаторов в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.77, 3.78, 3.79, 3.80

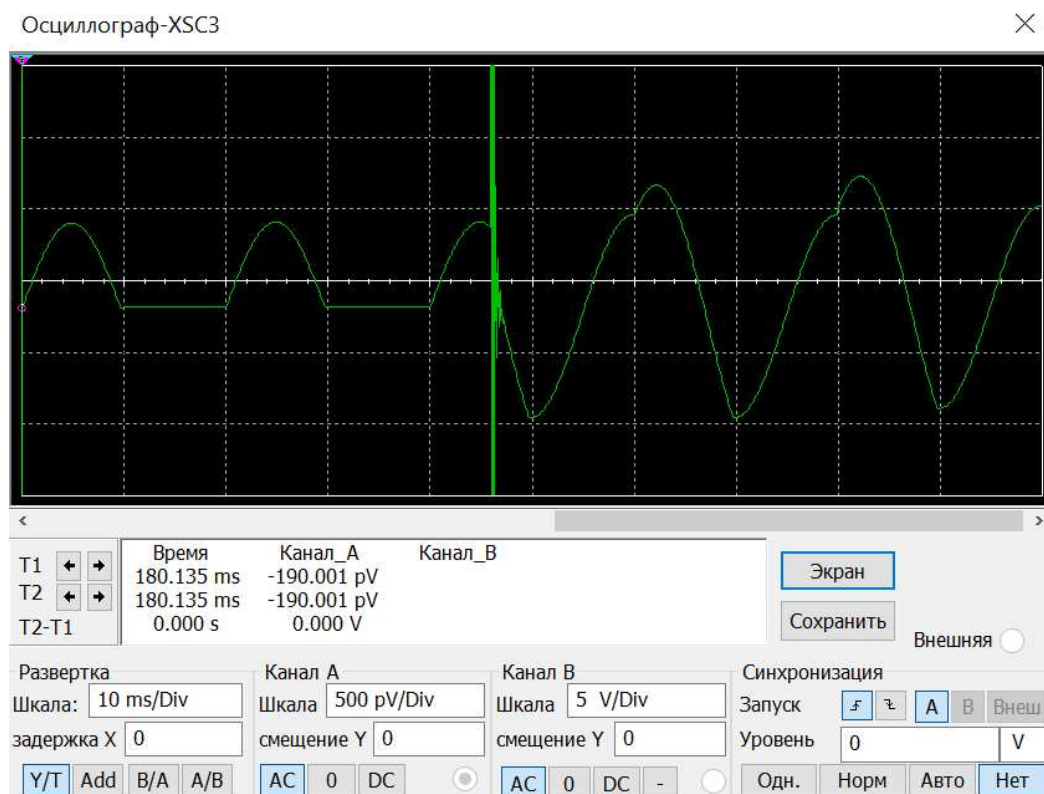


Рисунок 3.77 – Осциллограмма тока импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и конденсаторов

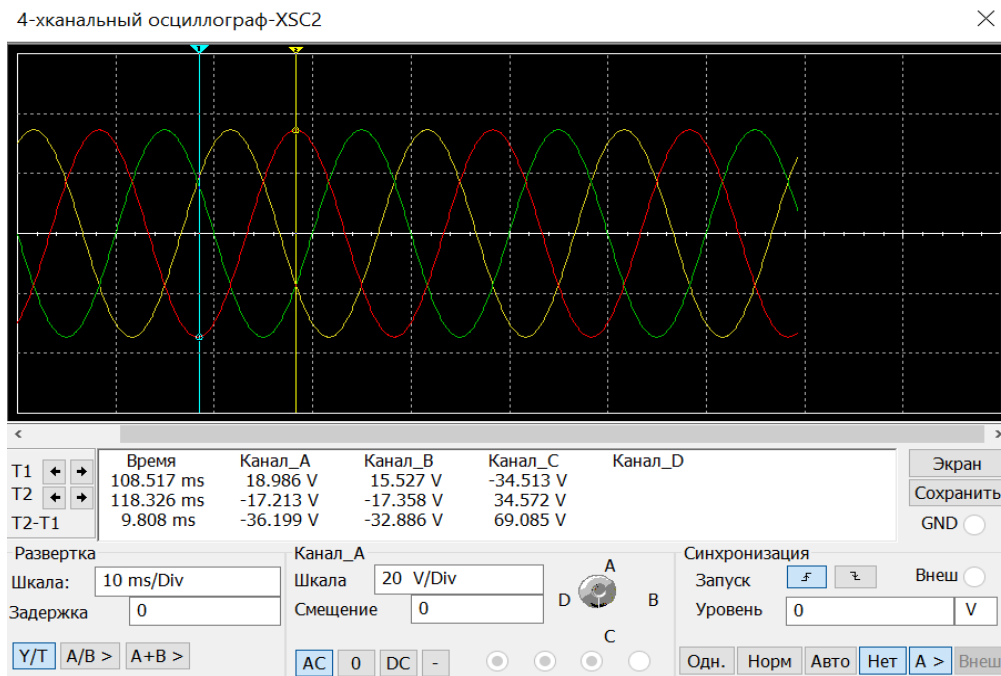


Рисунок 3.78 – Осциллограмма фазных напряжений импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и конденсаторов



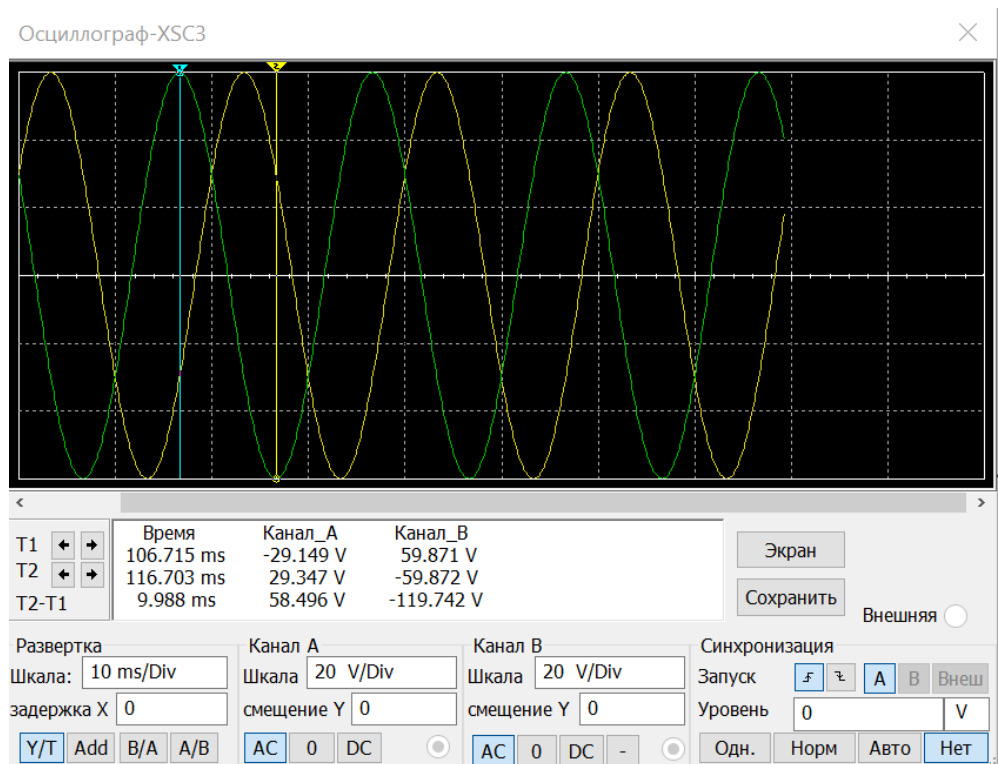


Рисунок 3.79 – Осциллограмма междуфазных напряжений АВ и ВС импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и конденсаторов

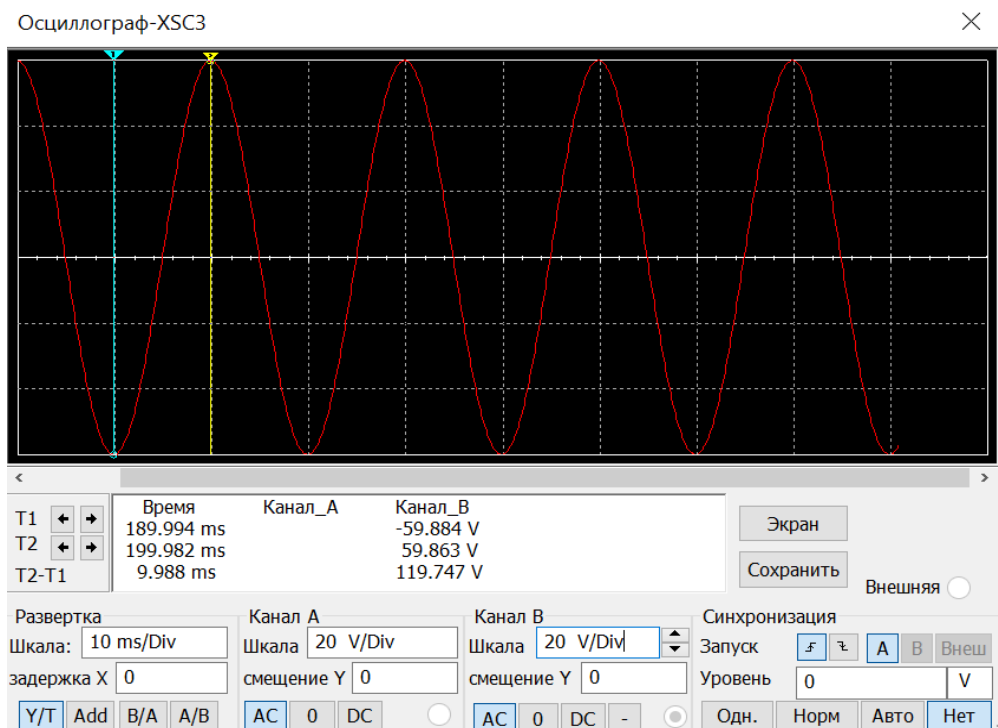


Рисунок 3.80 – Осциллограмма междуфазного напряжения АС импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и конденсаторов

Анализ данных осциллограмм показывает, что при импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузке на базе светодиодных ламп и конденсаторов высшие гармоники присутствуют по току, но в меньшей степени за счет параллельного включения конденсаторов, которые выполняют функцию широкополосного фильтра. Наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии представлен ниже.

### **Отклонение напряжения**

Действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты  $U_{1(1)i}$  определяется по формуле (3.1):

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3}(42 + 42 + 42) = 42 \text{ В.}$$

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле (3.2):

$$\delta U_y = \frac{42-42}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Колебания напряжения**

Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах определяется по формуле (3.3):

$$\delta U_t = \frac{|33 - 33|}{33} \cdot 100\% = 0 \%$$

### **Несимметрия напряжения**

Действующее значение напряжения по обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  определяется по формуле (3.7):

$$U_{2(1)i} = 0,62(42 - 42) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  в процентах определяется по формуле (3.8):

$$K_{2U} = \frac{0}{42} \cdot 100\% = 0 \%$$

Действующее значение напряжения по нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)}$  определяется по формуле (3.9):

$$U_{0(1)} = 0,62(24 - 24) = 0 \text{ В.}$$

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0\%}$  в процентах определяется по формуле (3.10):

$$K_{0\%} = \frac{0}{24} \cdot 100\% = 0 \%$$

### Отклонение частоты

Значение отклонения частоты  $\Delta f$  определяется по формуле (3.11):

$$\Delta f = 50 - 50 = 0 \text{ Гц.}$$

В таблице 3.12 приведены сводные данные о качестве электроэнергии на импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузке на базе светодиодных ламп и конденсаторов.

Таблица 3.12 – Данные о качестве электроэнергии

$U_{\text{ном.мф}} = 42 \text{ В}$	$U_{\text{ном.фаз}} = 24 \text{ В}$	$f_{\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$	
Показатели качества электроэнергии	Нормально допустимое значение	Предельно допустимое значение	Измеренное значение
$K_{\%y}$	5%	10%	0
$K_{\%0}$	-	10%	0
$K_{2\%}$	2%	4%	0
$K_{0\%}$	2%	4%	0
$\Delta f$	0,2 Гц	0,4 Гц	0

Анализ таблицы 3.12 показывает, что в сетях с изолированным режимом нейтрали при импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузке качество электроэнергии соответствует нормам.

Результаты моделирования импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на основе светодиодных ламп и конденсаторов, в сети с изолированным режимом нейтрали, показали, что при включении параллельно конденсаторов определенной емкости несинусоидальность тока нагрузки может быть исключена.

### 3.12 Результаты моделирования импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки с глухозаземленным режимом нейтрали сети

На рисунке 3.81 представлена электрическая схема импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания, выполненная в среде Multisim.

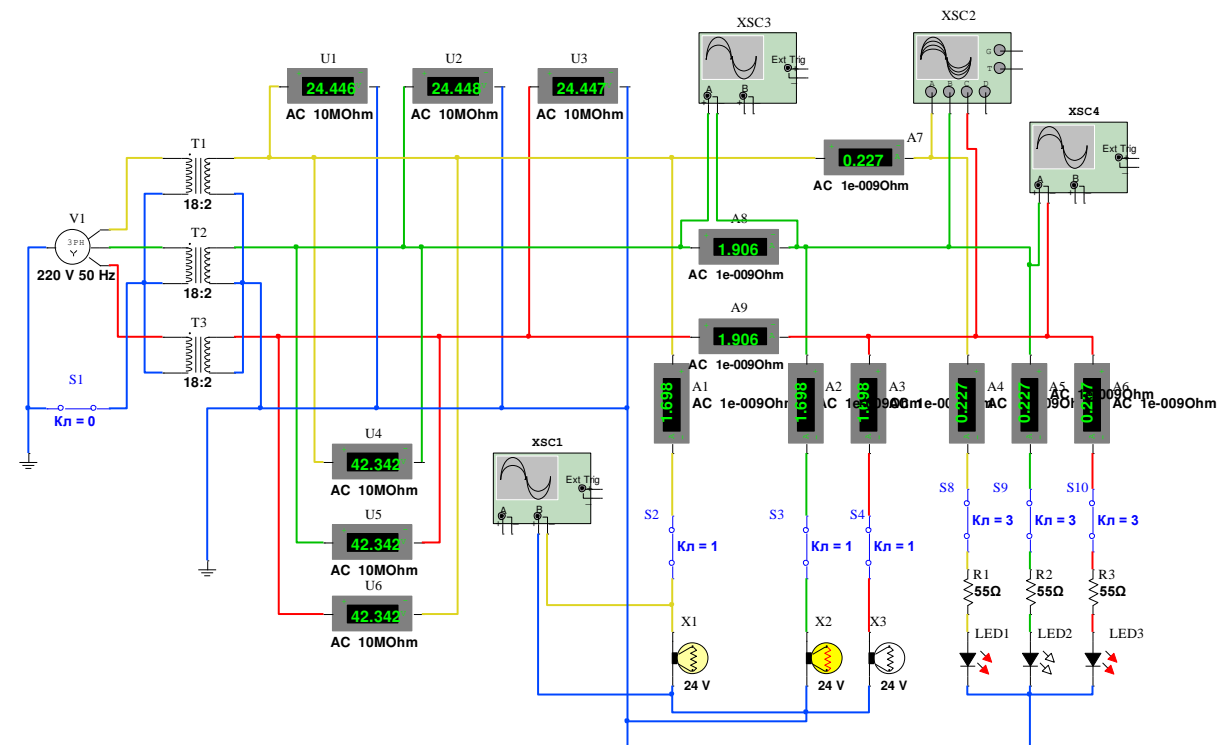


Рисунок 3.81 – Электрическая схема импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.82, 3.83, 3.84, 3.85

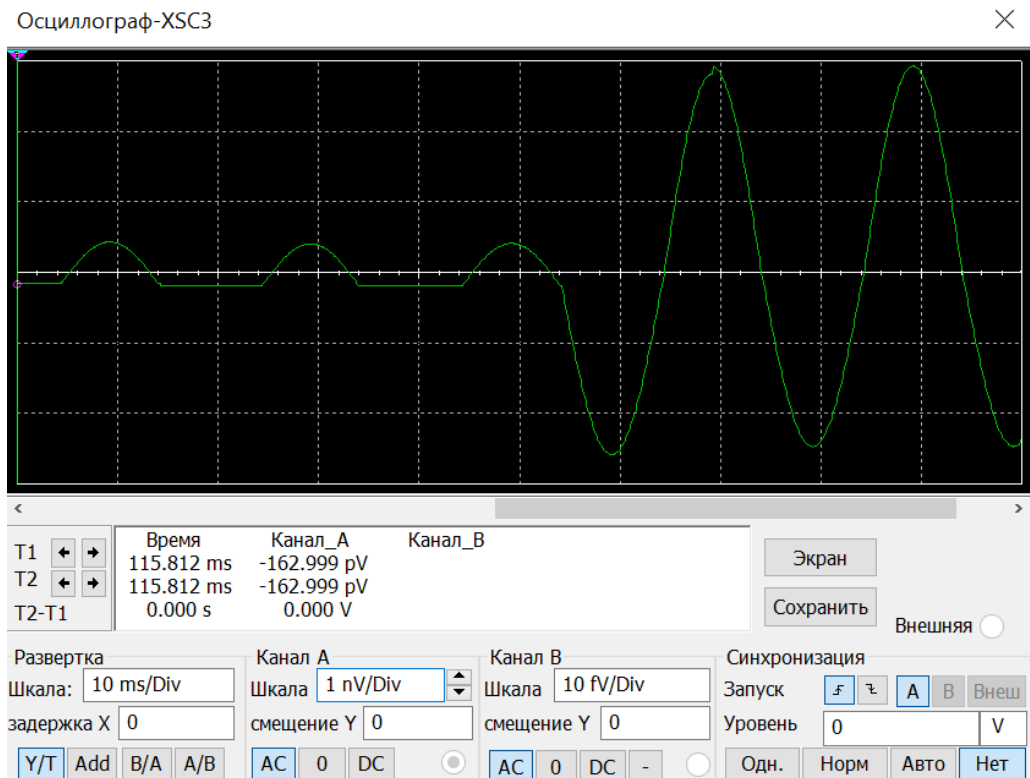


Рисунок 3.82 – Осциллограмма тока импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания

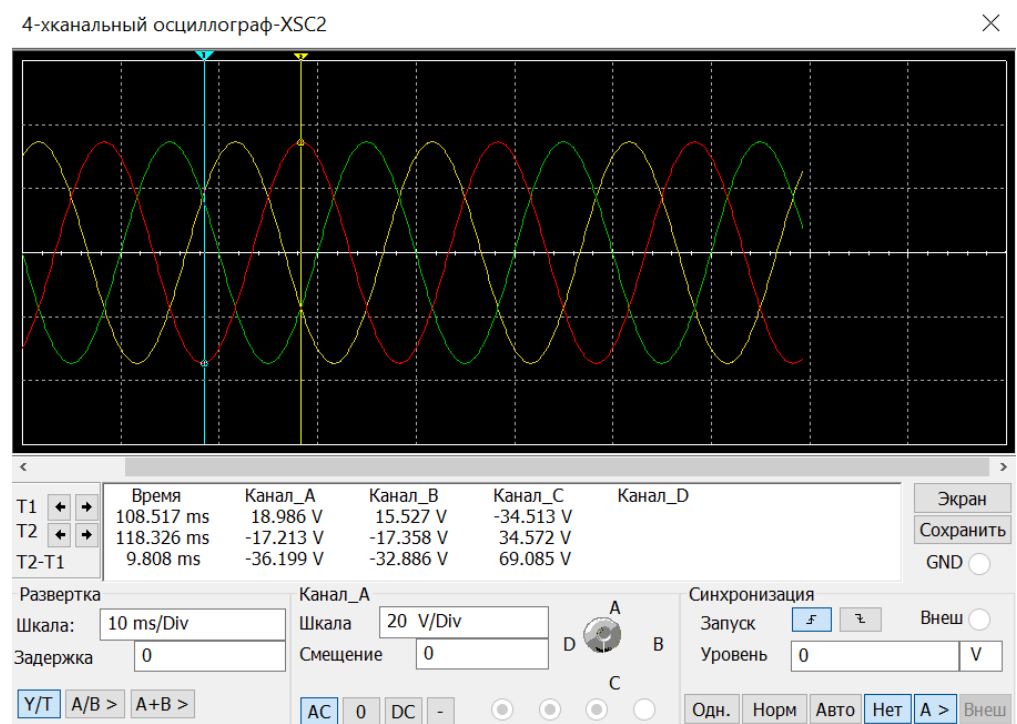


Рисунок 3.83 – Осциллограмма фазных напряжений импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания

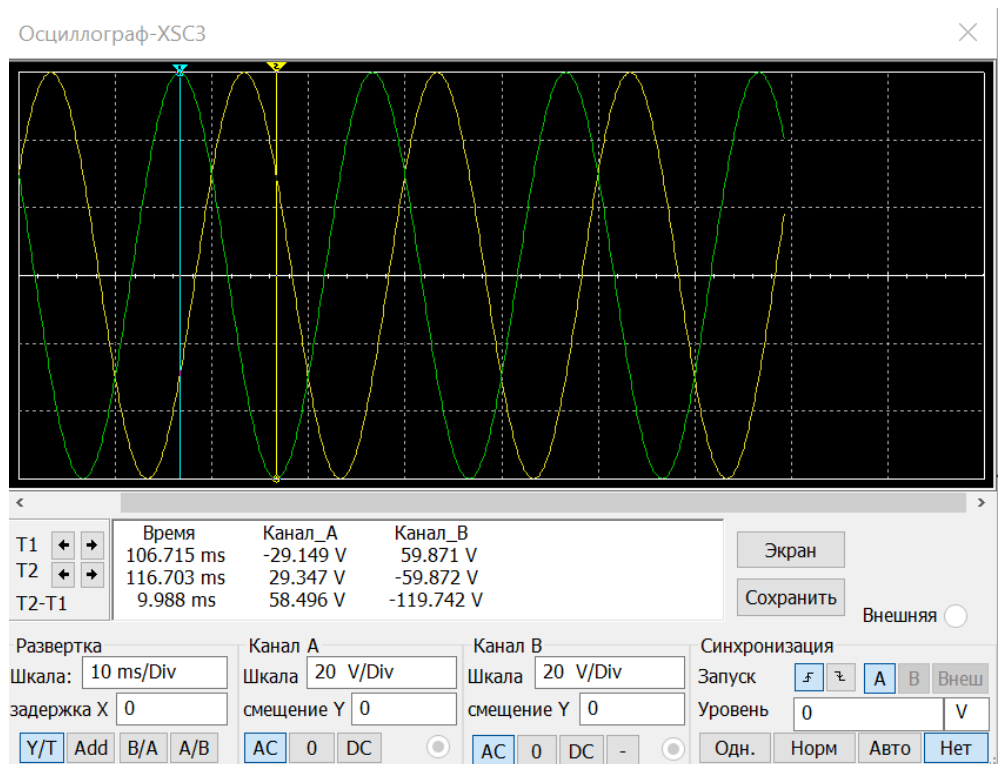


Рисунок 3.84 – Осциллограмма междуфазных напряжений АВ и ВС импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания

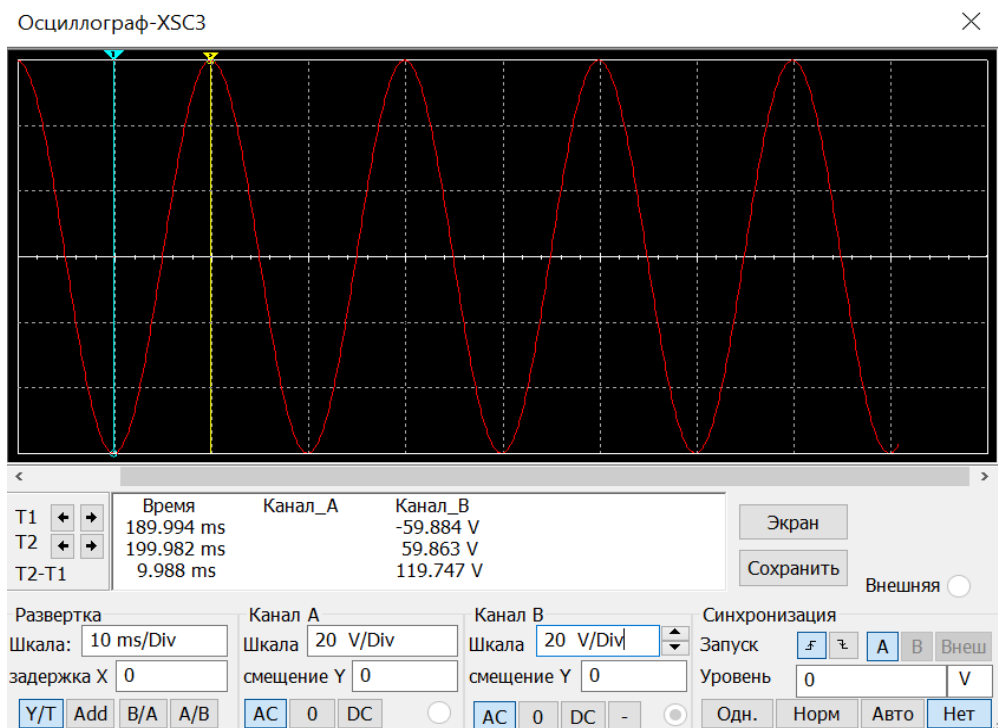


Рисунок 3.85 – Осциллограмма междуфазного напряжения АС импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и ламп накаливания

Анализ данных осциллограмм показывает, что при импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузке на базе светодиодных ламп и ламп накаливания высшие гармоники присутствуют по току, но при включении параллельно ламп накаливания, достаточной мощности, искажения синусоиды тока сглаживаются. Наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

Расчет основных параметров качества электрической энергии производить нет необходимости, потому как из выше приведенных осциллограмм можно сделать вывод, что при импульсно-линейном, равномерном, симметричном характере нагрузки, на базе светодиодных ламп и ламп накаливания, вид режима нейтрали не оказывает влияния на качество электрической энергии.

На рисунке 3.86 представлена электрическая схема импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и электрических конденсаторов, выполненная в среде Multisim.

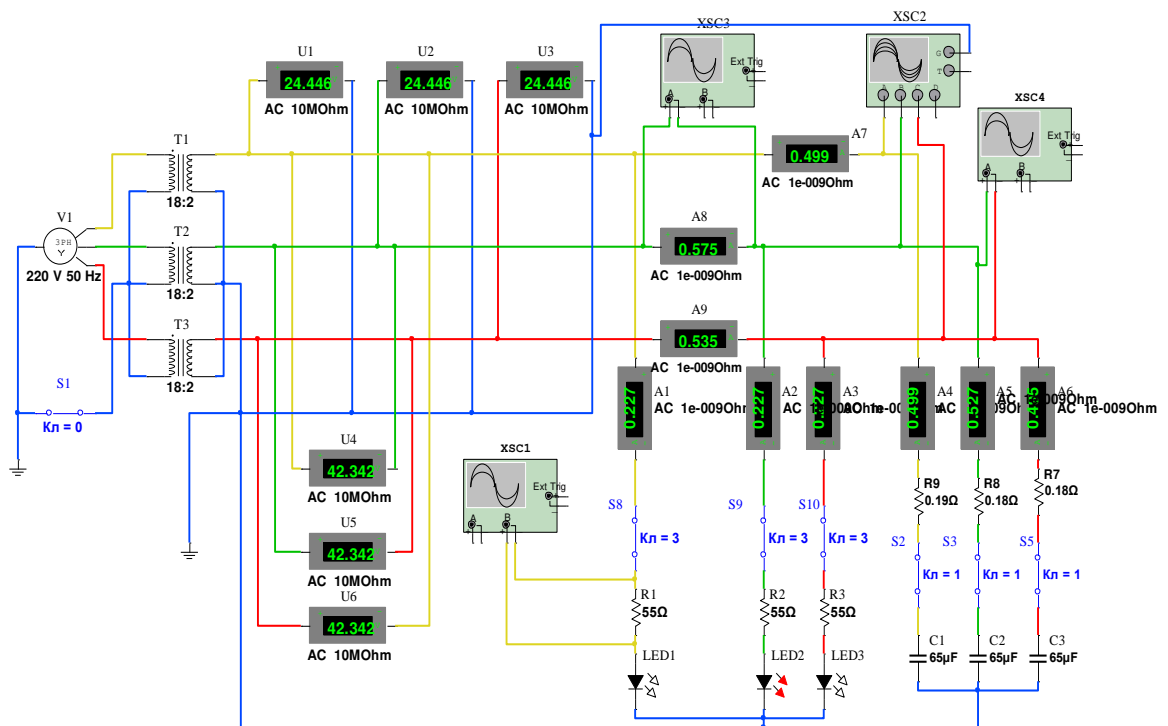


Рисунок 3.86 – Электрическая схема импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и конденсаторов в среде Multisim

При моделировании фиксировались следующие показания:

- фазные и линейные напряжения;
- ток нагрузки;
- спектральный состав тока и напряжения;
- частота тока нагрузки.

Осциллограммы указанных параметров приведены на рисунках 3.87, 3.88, 3.89, 3.90

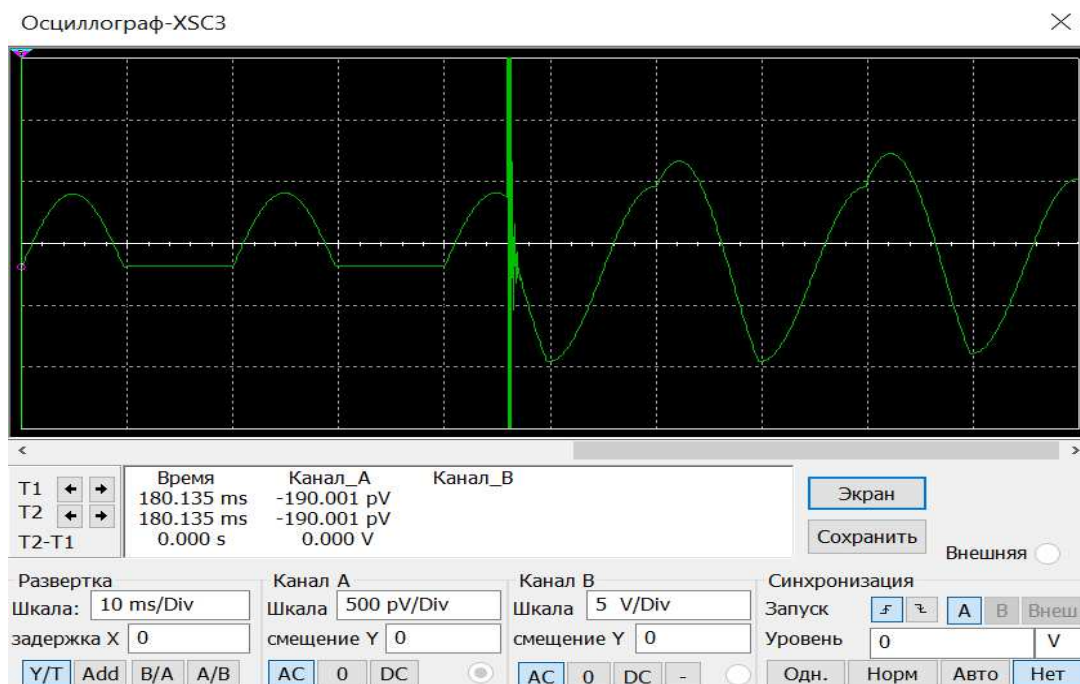


Рисунок 3.87 – Осциллограмма тока импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и конденсаторов

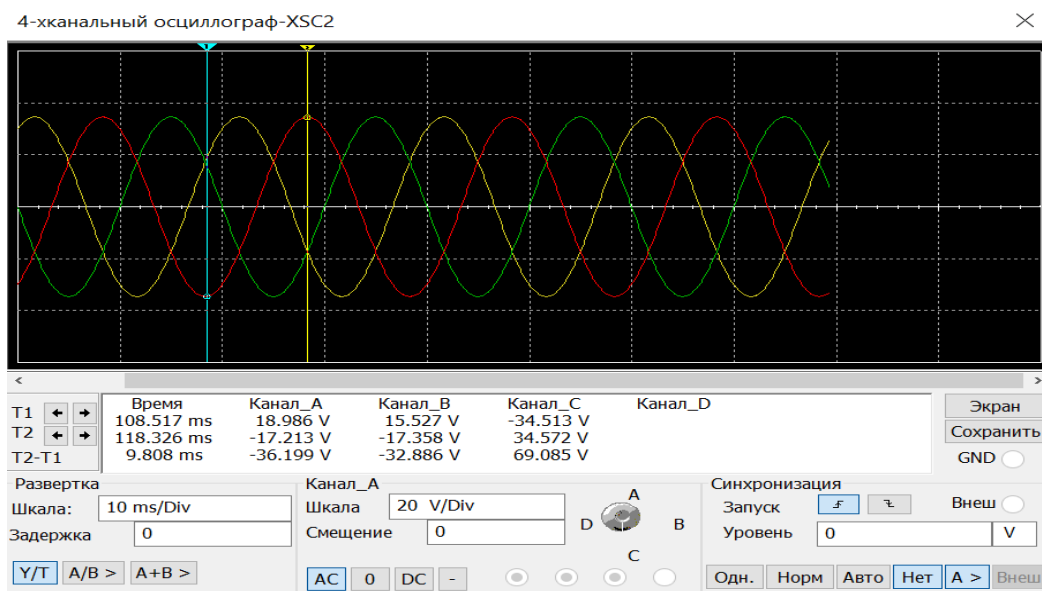


Рисунок 3.88 – Осциллограмма фазных напряжений импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и конденсаторов



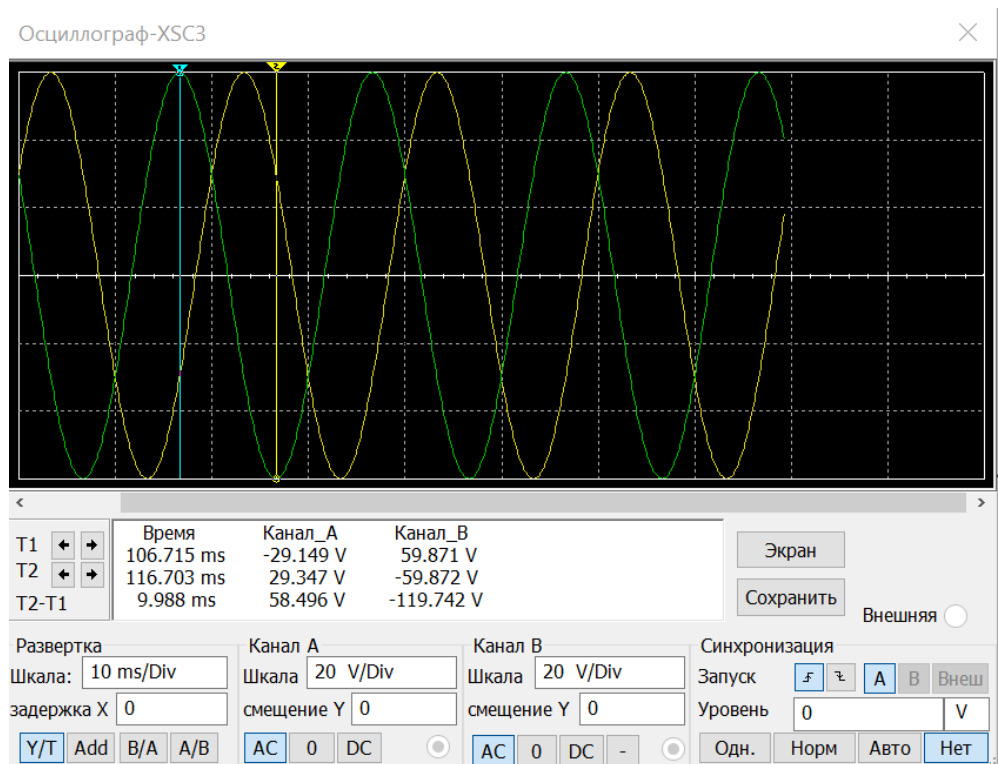


Рисунок 3.89 – Осциллограмма междуфазных напряжений АВ и ВС импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и конденсаторов

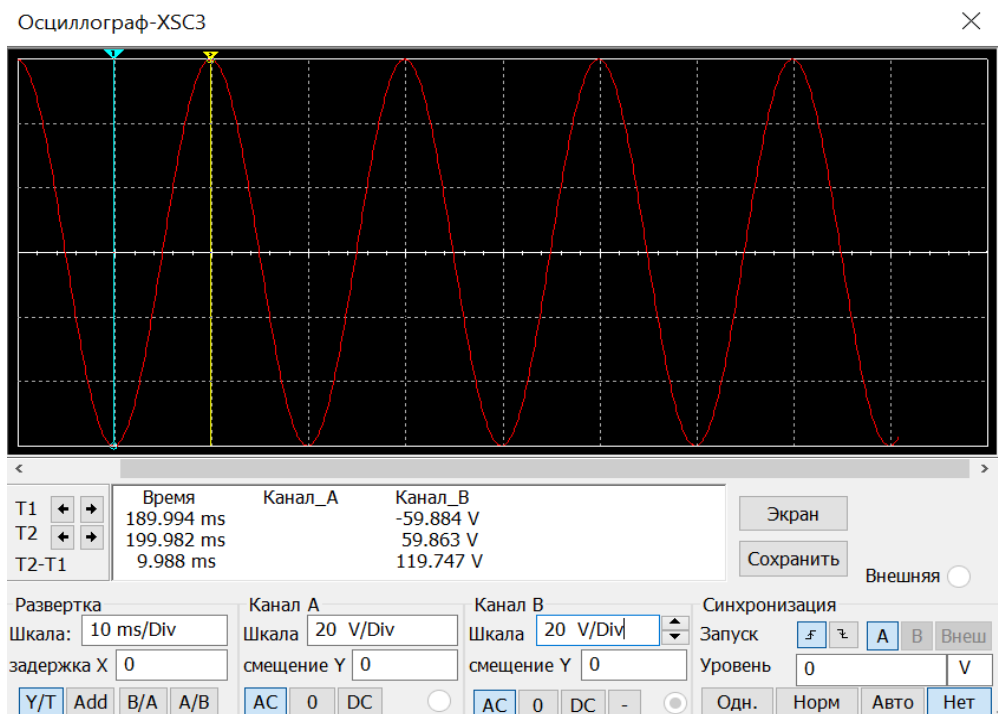


Рисунок 3.90 – Осциллограмма междуфазного напряжения АС импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузки на базе светодиодных ламп и конденсаторов

Анализ данных осциллограмм показывает, что при импульсно-линейной, равномерной, симметричной нагрузке на базе светодиодных ламп и конденсаторов высшие гармоники присутствуют по току, но в меньшей степени за счет параллельного включения конденсаторов, которые выполняют функцию широкополосного фильтра. Наблюдается равномерность и симметрия напряжения, частота тока нагрузки составляет 50 Гц.

### 3.13 Результаты моделирования перенапряжений при коммутации конденсаторных установок подключенных к трансформаторам

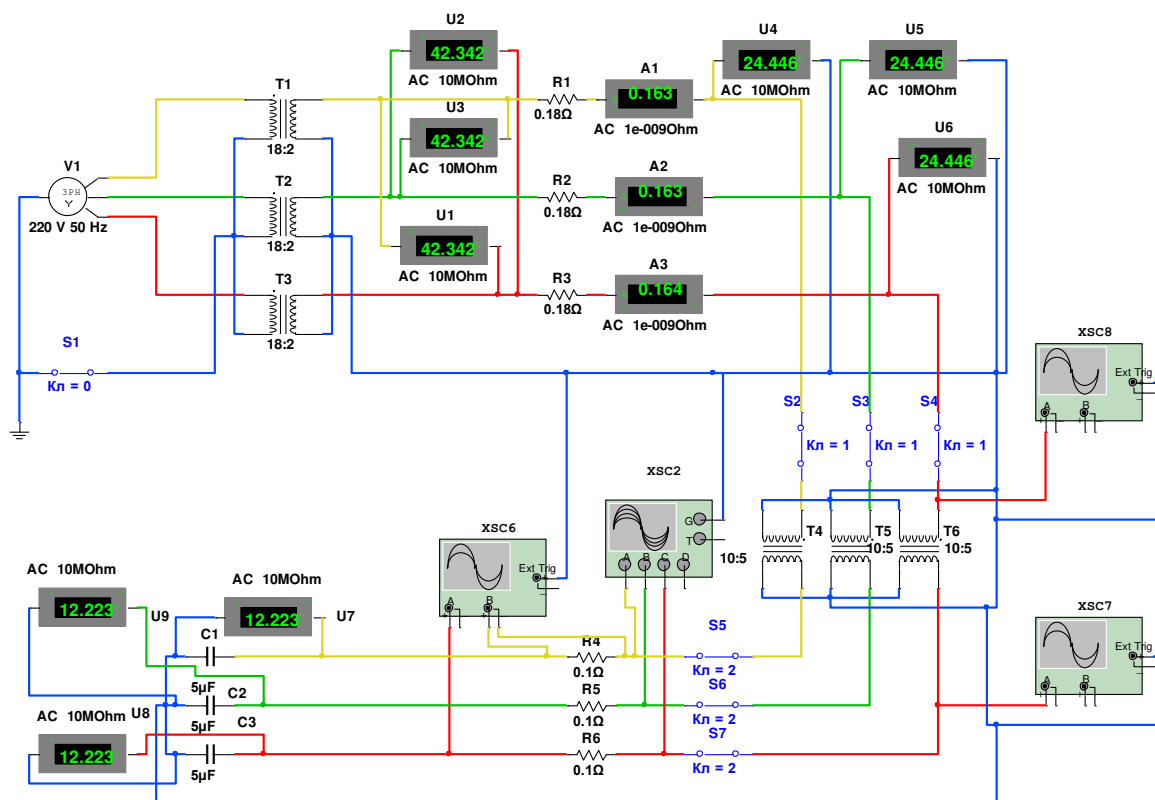


Рисунок 3.91 – Электрическая схема конденсаторных установок  
подключенных к трансформаторам в среде Multisim

При моделировании фиксировались показания фазного напряжения при коммутации на первичной и вторичной обмотке трансформатора, на холостом ходу и с включенными в нагрузку конденсаторными установками.

Осциллограммы фазного напряжения при коммутации на холостом ходу в первичной и вторичной обмотке трансформатора приведены на рисунках 3.92, 3.93

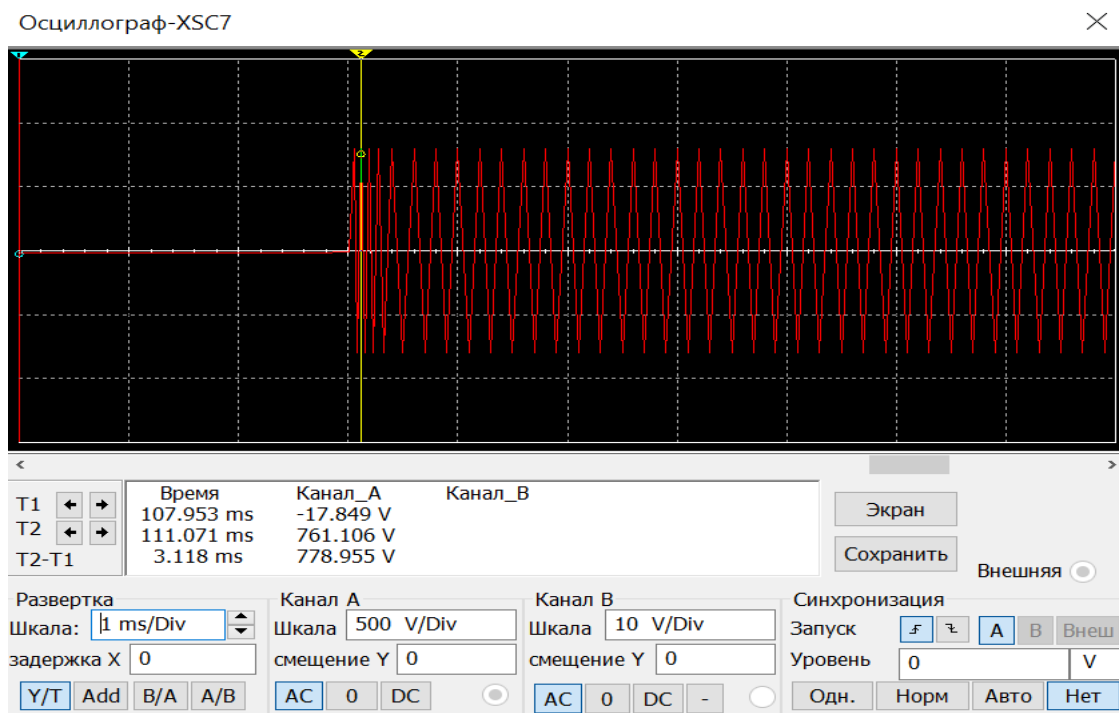


Рисунок 3.92 – Осциллограмма фазного напряжения при коммутации на холостом ходу во вторичной цепи трансформатора

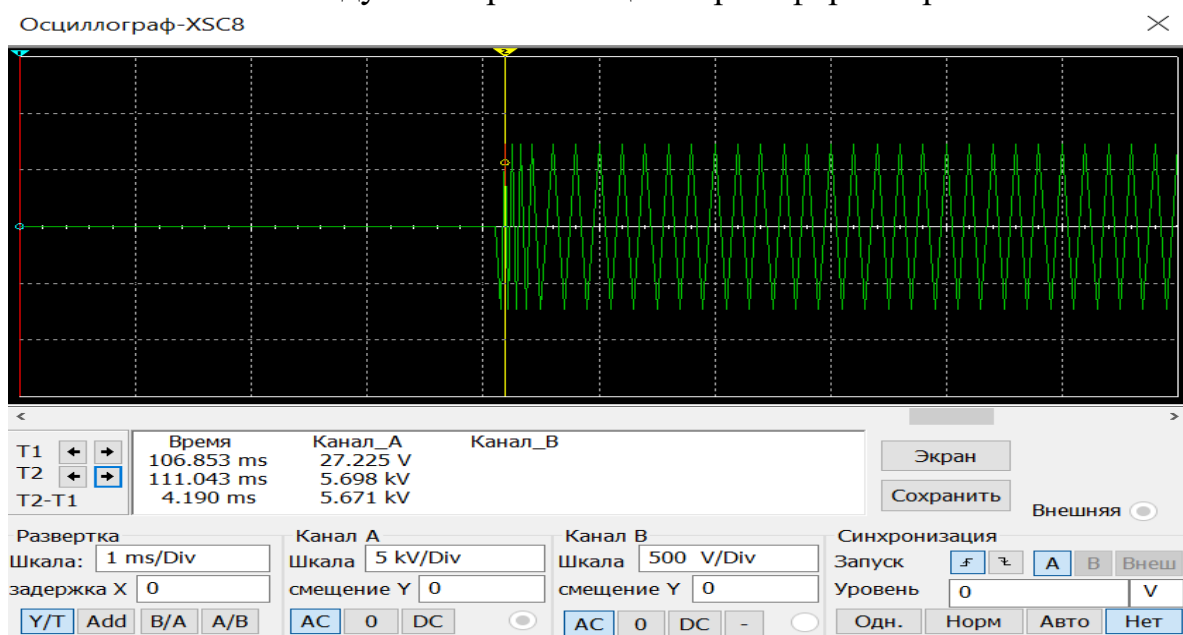


Рисунок 3.93 – Осциллограмма фазного напряжения при коммутации на холостом ходу в первичной цепи трансформатора

Анализ данных осциллограмм показывает, что при отключении трансформатора возникают перенапряжения, как в первичной цепи, так и во вторичной, но в первичной цепи величина перенапряжений в значительной степени превышает величину перенапряжений вторичной цепи.

Осциллограммы фазного напряжения при коммутации трансформатора с включенными в нагрузку конденсаторными установками емкостью 100мкФ в первичной и вторичной обмотке, приведены на рисунках 3.94, 3.95

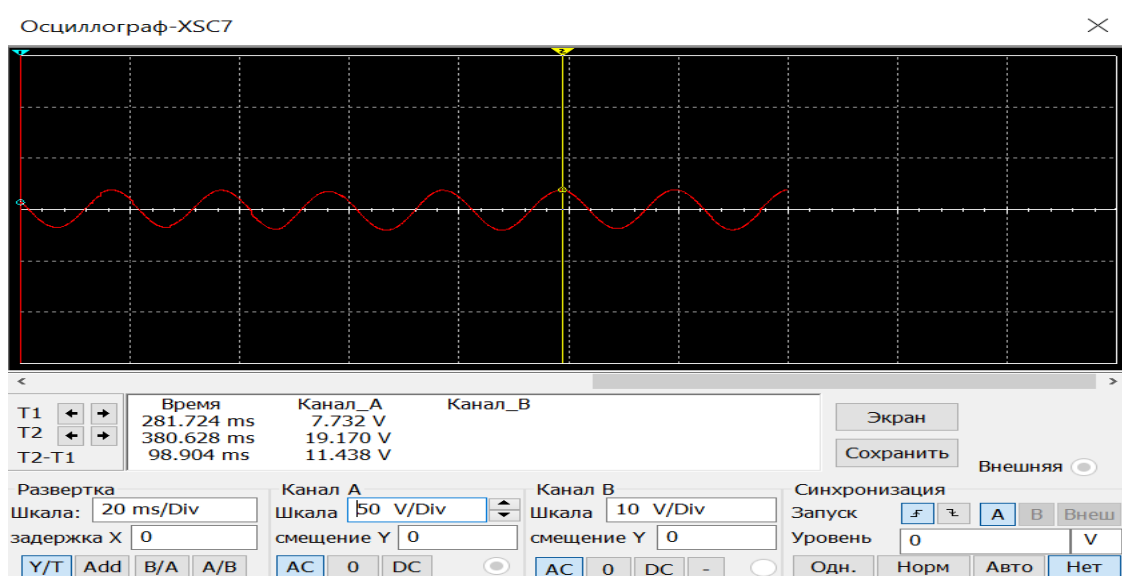


Рисунок 3.94 – Осциллограмма фазного напряжения во вторичной цепи трансформатора при коммутации с включенными в нагрузку конденсаторными установками емкостью 100мкФ

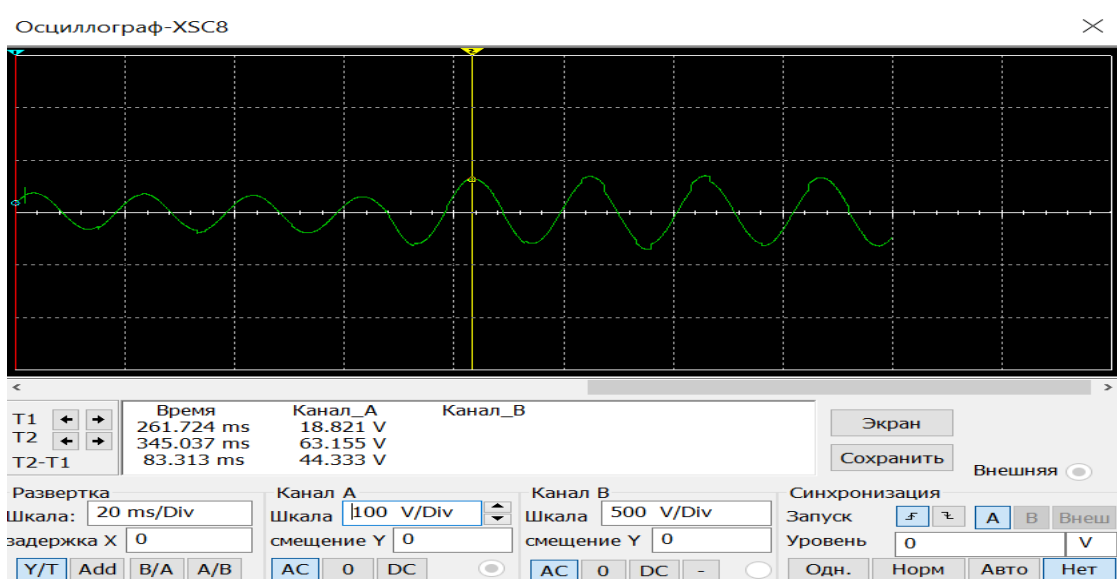


Рисунок 3.95 – Осциллограмма фазного напряжения в первичной цепи трансформатора при коммутации с включенными в нагрузку конденсаторными установками емкостью 100мкФ

Анализ данных осциллограмм показывает, что при отключении трансформатора с включенными в нагрузку конденсаторными установками емкостью 100мкФ, перенапряжения во вторичной цепи отсутствуют, а в первичной цепи перенапряжения возникают лишь незначительные.

Следовательно, можно сделать вывод, что для защиты трансформаторов от коммутационных перенапряжений целесообразно включать в нагрузку трансформаторов конденсаторные установки определенной емкости.

### **3.14 Выводы по разделу 3**

На основании выше изложенного материала можно сделать следующие основные выводы:

- 1) Изолированный режим нейтрали при неравномерной и несимметричной нагрузке оказывает сильное воздействие на качество электрической энергии, так как появляется напряжение смещения нейтрали. Вследствие этого фазные напряжения будут иметь разную величину, линейные напряжения не меняются.
- 2) Импульсная нагрузка влияет на синусоидальность тока в цепи. Фазные и линейные напряжения подвергаются искажению, если отсутствует токоограничивающий резистор в цепи импульсной нагрузки. Режим нейтрали на качество электрической энергии при импульсной нагрузке не оказывает влияния, если нагрузка равномерная.
- 3) Использование конденсаторов подключенных параллельно импульсной нагрузки позволяет сгладить в определенной степени несинусоидальность тока в цепи, за счет фильтрации высокочастотной составляющей тока нагрузки.
- 4) Нагрузка по системе преобразователь – двигатель, искажает синусоидальность кривой тока. Для сглаживания синусоидальности кривой тока в данной системе рационально подключать конденсаторы.
- 5) Качество электрической энергии в сетях до 1000В зависит от характера, симметрии и равномерности нагрузки в сетях с изолированным режимом нейтрали.
- 6) В сетях с глухозаземленным режимом нейтрали на качество электрической энергии оказывают влияние в основном высшие гармоники генерируемые нагрузкой.
- 7) Компьютерное моделирование показало, что при разработке стенда по изучению качества электрической энергии необходимо отразить влияние типа нагрузки (равномерная – неравномерная, импульсная) и режима нейтрали сети на показатели качества электрической энергии.
- 8) Наиболее характерны типы нагрузки, которые необходимо рассмотреть при разработке стенда следующие: линейная – лампы накаливания, конденсаторы; импульсная нагрузка – светодиоды; двигательная нагрузка по системе преобразователь – двигатель.

- 9) Изучение перенапряжений на виртуальной модели двигателей и трансформаторов показало, что перенапряжения возникают при коммутации, следовательно, стенд должен позволять демонстрировать данные физические явления.

## **4 Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда**

### **4.1 Разработка дизайна и конструкции стенда**

Габариты стенда были приняты исходя из существующих стендов, которые используются в лабораториях на кафедре ЭГМП. Габариты стенда представлены на рисунке 4.1.

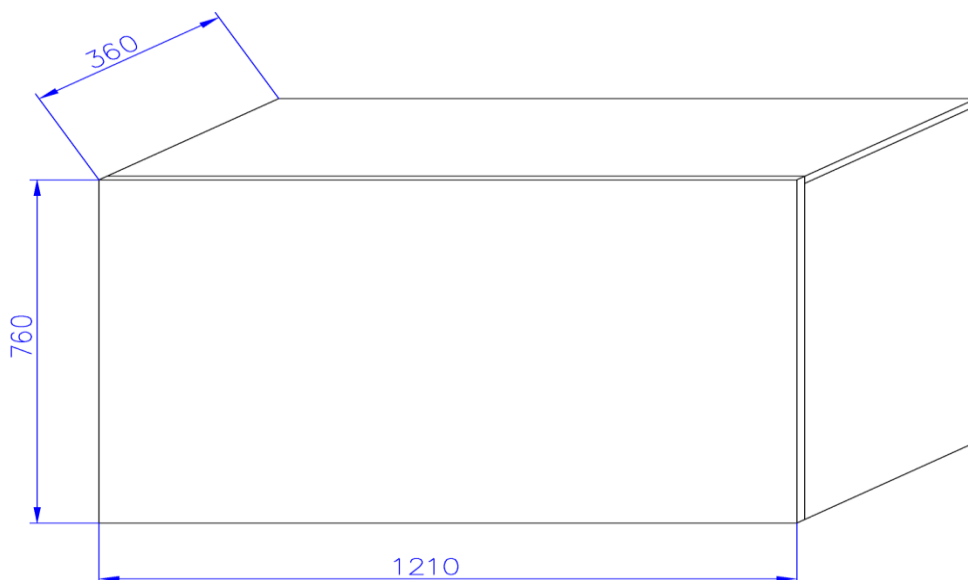


Рисунок 4.1 – Габариты лабораторного стенда

Корпус лабораторного стенда собран из листов ЛДСП белого цвета толщиной 16 мм, скрепленных шурупами. Внешний вид корпуса стенда представлен на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Внешний вид корпуса лабораторного стенда

На рисунке 4.3 представлен эскиз лицевой части стенда.

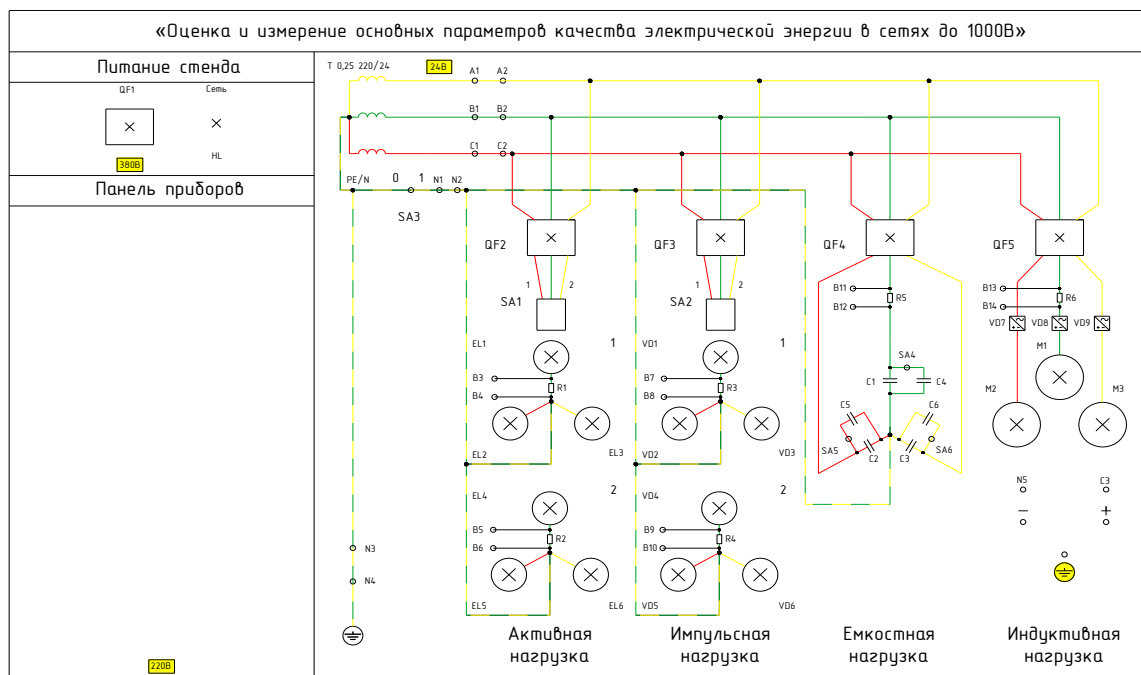


Рисунок 4.3 – Эскиз лицевой части стенда

Лицевая часть стенда была напечатана на самоклеящейся бумаге, а все необходимые элементы установлены на места, согласно эскизу, показанному на рисунке 4.3. На рисунке 4.4 приведена фотография внешнего вида лабораторного стенда – Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В.

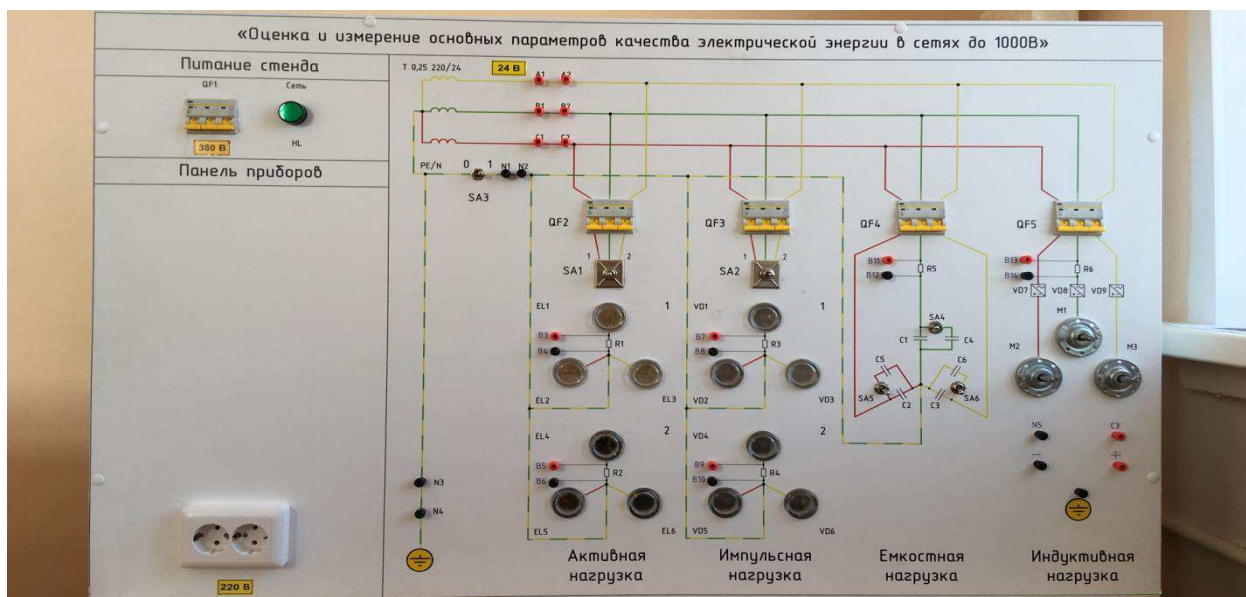


Рисунок 4.4 – Внешний вид лабораторного стенда – Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В



На лицевой части стенда представлены: питание стенда, панель приборов и рабочая часть стенда.

Для подачи напряжения на стенд «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В» используется автоматический выключатель **QF1**, при включении которого загорается зеленая сигнальная лампа **HL**. На панели приборов располагаются: мультиметр Mastech MS8268, анализатор и регистратор качества электрической энергии REN700, осциллограф FLUKE 196C SCOPEMETER COLOR и розетка на 220В. На центральной части стенда расположена электрическая схема. Стенд позволяет изучать влияние на качество электроэнергии в сетях до 1000В с изолированным и глухозаземленным режимом нейтрали четырех видов нагрузки и их комбинаций: активной, импульсной, емкостной и двигательной (на стенде указана как индуктивная).

Активная нагрузка представлена лампами накаливания. Она подразделяется на две группы разной мощности. Первая группа (**EL1–EL3**) состоит из ламп мощностью 40Вт каждая, соединенных в звезду. Вторая группа (**EL4–EL6**) состоит из ламп мощностью 60Вт каждая, соединенных в звезду. Питание на активную нагрузку подается при помощи автоматического выключателя **QF2**. Затем при помощи тумблера **SA1** выбирается мощность нагрузки первой группы либо второй.

Импульсная нагрузка представлена светодиодными лампами. Она подразделяется на две группы разной мощности. Первая группа (**VD1–VD3**) состоит из ламп мощностью 6,5Вт каждая, соединенных в звезду. Вторая группа (**VD4–VD6**) состоит из светодиодных ламп мощностью 10Вт каждая, соединенных в звезду. Питание на импульсную нагрузку подается при помощи автоматического выключателя **QF3**. Затем при помощи тумблера **SA2** выбирается мощность нагрузки первой группы либо второй.

Емкостная нагрузка состоит из шести конденсаторов (**C1–C6**). Конденсаторы **C1–C3** имеют емкость 20мкФ, а конденсаторы **C4–C6** имеют емкость 45мкФ. Питание на емкостную нагрузку подается при помощи автоматического выключателя **QF4**, включая который, поступает питание на конденсаторы **C1–C3**, которые соединены в звезду. Затем, поочередно переключая тумблеры **SA4**, **SA5**, **SA6** поступает питание на конденсаторы **C4**, **C5**, **C6** соответственно.

Индуктивная нагрузка смоделирована по схеме – преобразователь (диодный мост) – электродвигатель постоянного тока **M1–M3**. Питание на индуктивную нагрузку подается при помощи автоматического выключателя **QF5**, включая который, напряжение подается на диодные мосты **VD7**, **VD8**, **VD9** и через них в виде выпрямленного напряжения на электродвигатели **M2**, **M1**, **M3** соответственно.

Также на лицевой панели стенда расположены измерительные гнезда и тумблер **SA3**, который переводит сеть с изолированного на глухозаземленный режим нейтрали.

## 4.2 Выбор рабочего напряжения и автоматических выключателей

Для безопасного функционирования лабораторного стенда принимаем рабочее напряжение схемы 24В.

Электрические параметры схемы стенда, приведенные в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Электрические параметры схемы стенда

Название стенда	Напряжение сети, В	Рабочее напряжение, В	Номинальный ток схемы, $I_n$ , А	Номинальная мощность $P_n$ , Вт	Коэффициент мощности, $\phi$
Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В	380	24	Фаза А = 3,57 Фаза В = 3,68 Фаза С = 3,57	Фаза А = 85,68 Фаза В = 88,32 Фаза С = 85,68	0-1

Для защиты стенда, получающего питание от сети напряжением 380В, от токов короткого замыкания принимаем автоматический выключатель IEK ВА 47-29-С6. Параметры автоматического выключателя приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Параметры выключателя

Тип выключателя	Номинальное напряжение $U_n$ , В	Номинальный ток расцепителя $I_{н.расц.}$ , А	Номинальная отключающая способность $I_{сп.}$ , кА
IEK ВА 47-29 С6	400	6	4,5

Ток двухфазного короткого замыкания в месте установки стенда по данным энергетической службы СФУ не превышает 2.2кА. Выключатели считаются работоспособным, если  $U_{н.выкл.} = U_{н.сети}$ ,  $I_{н.расц.} \geq 1,15I_{н.эл.пр.}$ . Отключающая способность выключателя должна быть  $I_{откл.н.} \geq I_{кз.макс.}$ .

В таблице 4.3 приведены сравнительные характеристики выключателя с параметрами схемы стенда.

Таблица 4.3 – Сравнительные характеристики выключателя

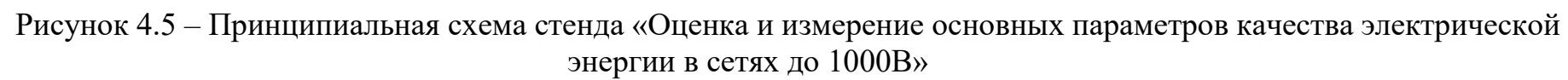
Параметр	Выключатель IEK ВА 47-29 С6	Схема	Выполнение условия
$U_n$ , В	400	380/24	Соблюдается
$I_{н.расц.}$ , А	6	Фаза А = 3,57 Фаза В = 3,68 Фаза С = 3,57	Соблюдается

$I_{\text{отк.сп.}}, \text{кА}$	4,5	2,2	Соблюдается
---------------------------------	-----	-----	-------------

Анализ таблицы 4.3 показывает, что выбранный выключатель обеспечит надежную работу схемы, а при возникновении короткого замыкания успешно отключит соответствующую схему от сети.

#### **4.3 Разработка принципиальной электрической и монтажной схем стенда**

Принципиальная электрическая схема для стенда «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В» приведена на рисунке 4.5. На основании принципиальной электрической схемы была разработана монтажная схема стенда, показанная на рисунке 4.6.



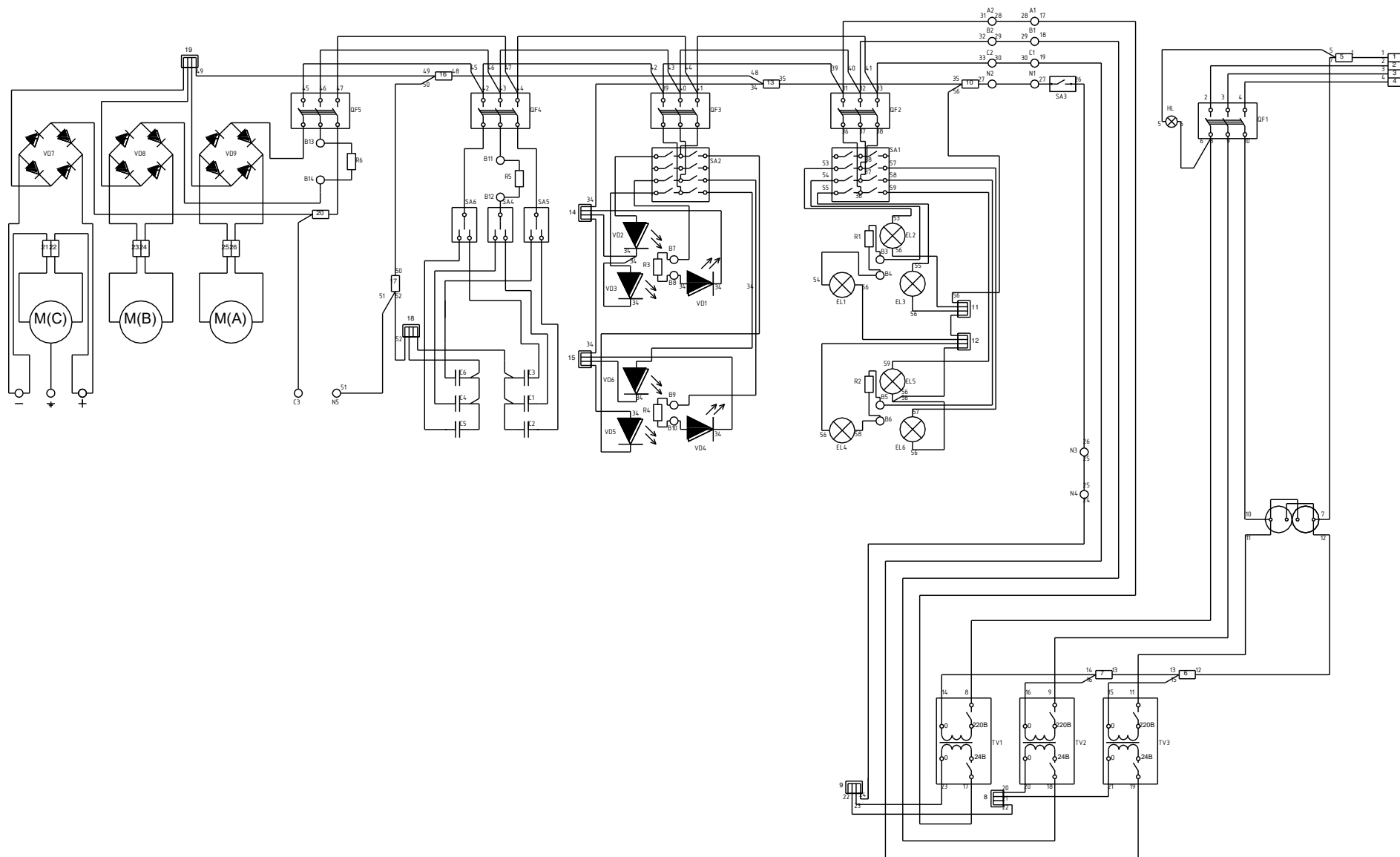


Рисунок 4.6 – Монтажная схема стенда «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»

## 4.4 Выбор необходимых измерительных приборов и оборудования

Для выполнения работы нам понадобятся приборы: мультиметр, осциллограф, анализатор и регистратор качества электрической энергии.

### 4.4.1 Мультиметр

Исходя из теоретических значений частоты (50Гц) и величины напряжения (24В) в цепях измерения, полученных в ходе моделирования в среде Multisim 12.0, выбираем мультиметр Mastech MS8268 с диапазоном измерения частоты 10Гц–200кГц, диапазоном измерения переменного напряжения 0-750В. Внешний вид прибора представлен на рис.4.6

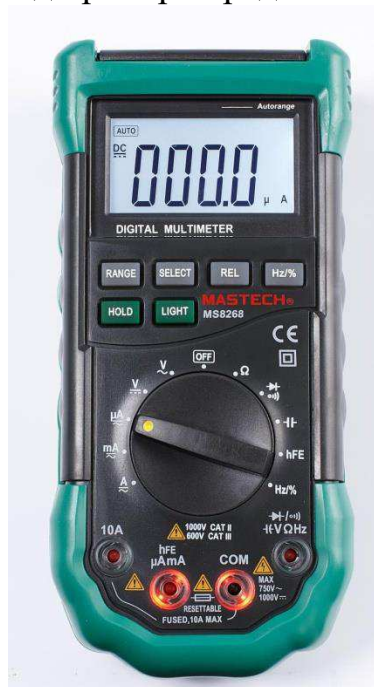


Рисунок 4.7 – Внешний вид мультиметра

Технические характеристики прибора Mastech MS8268 приведены в таблицах 4.4-4.6

Таблица 4.4 – Технические характеристики Mastech MS8268

Технические характеристики	Параметры
Напряжение постоянного тока	0 - 1000 В
Напряжение переменного тока	0 – 750 В
Постоянный ток	0 – 10 А
Переменный ток	0 – 10 А
Сопротивление	0 – 40 Мом

Емкость	0 – 200 мкФ
Частота	10-200000Гц
Масса	0,4 кг

Таблица 4.5 – Измерение переменного напряжения (U, AC)

Предел измерения	Разрешение	Точность
400 мВ	0,1 мВ	±3,0% ед. изм ± 3 значения
4 В	1 мВ	±0,8% ед. изм ± 3 значения
40 В	10 мВ	±0,8% ед. изм ± 3 значения
400 В	100 мВ	±0,8% ед. изм ± 3 значения
750 В	1 В	±1,0% ед. изм ± 3 значения

Таблица 4.6 – Измерение частоты (f, AC)

Предел измерения	Разрешение	Точность
9,999 кГц	0,001 Гц	±2,0% ед. изм ± 5 значения
99,99 кГц	0,01 Гц	±2,0% ед. изм ± 5 значения
999,9 кГц	0,1Гц	±2,0% ед. изм ± 5 значения
9,999 кГц	1 Гц	±2,0% ед. изм ± 5 значения
99,99 кГц	10 Гц	±2,0% ед. изм ± 5 значения
999,9 кГц	100 Гц	±2,0% ед. изм ± 5 значения
>200 кГц	100 Гц	не установлена

#### 4.4.2 Осциллограф

Для того чтобы зафиксировать наличие высших гармоник в токе нагрузки, фазных и линейных напряжений сети будем использовать осциллограф Fluke 196C. На рисунке 4.8 показан внешний вид осциллографа Fluke 196C. Технические характеристики данного осциллографа представлены в таблице 4.7



Рисунок 4.8 – Осциллограф Fluke 196C

Таблица 4.7 – Технические характеристики Fluke 196C

Характеристики		Параметры
Частота дискретизации		1 ГГц (Fluke 196)
Память		1000 точек/канал, 27500 точек/канал на вход (при использовании режима записи осциллограммы ScopeRecord)
Разрешение по вертикали		8 бит
Количество каналов		2
Вертикальное отклонение	Полоса пропускания	0 – 100 МГц (Fluke 196)
	Коэф. отклонения	5 мВ/дел – 100 В/дел
	Погрешность	$\pm 1,5\%$
	Время нарастания ПХ	$< 3,5$ нс (Fluke 196)
	Входной импеданс	1 МОм/15 пФ
	Макс. входное напряжение	300 В, 600 В (с делителем 1:10)



Горизонтальное отклонение	Коэф. развертки		5 нс/дел – 5 с/дел (Fluke 196/199
	Погрешность		± 0,01%
Синхронизация	Источники синхронизации		Каналы 1, 2, внешний
	Режимы синхронизации		Автоматический Нормальный Однократный По видеосигналу По уровню По длительности импульса Задержанная
Дополнительные функции			
Курсорные и автоматические измерения	Мультиметр	Постоянное напряжение	0,1 мВ – 1000 В
		Погрешность измерения	± 0,5%
		Переменное напряжение	0,1 мВ – 1000 В
		Диапазон частот	0 – 1 кГц
		Погрешность измерения	± 1%
		Сопротивление	0,1 Ом – 30 МОм
		Погрешность измерения	± 0,6%
		Прозвонка	
		Тест диодов	
		Измерение силы тока и температуры (с опциональными пробниками)	
Продолжение таблицы 4.7			

Характеристики		Параметры
Общие характеристики	Индикация	3,5 разряда
	Экран: ЖКИ	диагональ 105х79 мм
	Интерфейс	RS-232
	Питание	Ni-MH батарея, время работы 4 часа
	Диапазон рабочих температур	00С ..+500С
	Габаритные размеры	256х169х64 мм
	Масса	2 кг

Полоса пропускания при сопряжении по переменному току 100 МГц, Частота дискретизации в реальном масштабе времени 1ГГц/с.

#### 4.4.3 Анализатор и регистратор качества электрической энергии.

Для того, чтобы зафиксировать отклонение напряжения и дозу фликера воспользуемся анализатором и регистратором качества электрической энергии REN700. На рисунке 4.9 показан внешний вид прибора REN700.



Рисунок 4.9 – REN700

Цифровой анализатор-регистратор качества электроэнергии с функцией REN700 предназначен для мониторинга параметров трехфазной электрической сети: прибор выполняет измерения фазных и междуфазных напряжений, дозы фликера (кратковременную и длительную), отклонения напряжений и частоту сети.

Прибор может работать в режиме регистратора событий, выполняя регистрацию отклонений параметров электроэнергии от установленных норм качества стандартом ГОСТ 13109-97, и в режиме регистрации фазных напряжений.

Спецификация приборов, устройств, комплектующих и расходных материалов, которые использовались при конструировании стенда, представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Спецификация электрооборудования

Обозначение	Наименование	Тип или марка	Кол -во
QF1	Автоматический выключатель	BA47-29 6А IEK	1
QF2-QF5	Автоматический выключатель	BA47-29 4А IEK	4
HL	Индикаторная лампа 220 В		1
	Мультиметр	Mastech MS8268	1
	Осциллограф	Fluke 196C	1
	Анализатор и регистратор качества электрической энергии	REN700	1
SA1 – SA2	Тумблеры 3 позиц. 4-х контактные	E-TEMP	2
SA3	Тумблер 2 позиц	E-TEMP	1
SA4-SA6	Тумблер 3 позиц	E-TEMP	3
TV1- TV3	Трансформатор 220/24В	МТТ12-024-0250	3
EL1-EL3	Лампы накаливания 40Вт	ЭРА	3
EL4-EL6	Лампы накаливания 60Вт	ЭРА	3
VD1-VD3	Светодиодные лампы 6,5Вт	VARTON	3
VD4-VD6	Светодиодные лампы 10 Вт	VARTON	3
C1-C3	Конденсаторы 20мкФ	МБГО	3
C4-C6	Конденсаторы 45мкФ	МБГО	3
M1-M3	Электродвигатели	Вемос	3
VD7-VD9	Диодные мосты	MIC WO4M	3
R1-R6	Сопротивление 0,1 Ом	Нихром d=1,4 мм <sup>2</sup>	6

	Соединительные провода	ПВ-4 1,5мм <sup>2</sup>	20
	Розетка		2

Продолжение таблицы 4.8

	Штепсельные разъемы		27
	Клеммная колодка	КЗВ	26

## 4.5 Апробация работы стенда

Разработанный стенд позволяет выполнить 2 лабораторные работы:

- оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали;
- оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с изолированным режимом нейтрали.

### 4.5.1 Алгоритм выполнения лабораторной работы «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали»

Алгоритм выполнения данной лабораторной работы выполняется в следующей последовательности.

1) Выбираем глухозаземленный режим нейтрали – тумблер SA3 переводим в положение 1.

2) Для подачи питания на стенд, необходимо включить автоматический выключатель QF1, загорается зеленая сигнальная лампа HL, которая указывает, что питание на стенд подано.

3) Подготавливаем приборы: анализатор и регистратор качества электрической энергии REN700, осциллограф Fluke 196C Scopemetr color, мультиметр MASTECH MS-8268:

- прибор REN700, цветные проводники вставляем в гнезда прибора соответствующего цвета;

- осциллограф Fluke 196с, черный провод подключаем в гнездо питания осциллографа, находящееся в верхней части прибора справа, красный провод подключаем в гнездо «INPUT A».

4) **Анализ отклонения напряжения и частоты, фиксация дозы фликера.**

Подключаем анализатор и регистратор качества электрической энергии REN700 к оголенным гнездам A2, B2, C2, N2 в следующей последовательности:

- черный провод – A2;
- красный провод – B2;
- синий провод – C2;

– желтый провод – N2.

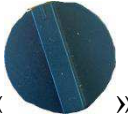
4.1) Включаем прибор REN700, нажатием клавиши подачи питания «



», раздается короткий звуковой сигнал, сигнализирующий о включении прибора.

4.2) Включаем автоматический выключатель QF2, подающий питание на активную нагрузку, тумблер SA1 переводим в положение 1, которое соответствует мощности каждой лампочки равной 40 Вт.

4.3) Поворотный переключатель функций регистратора «



устанавливаем в положение измерения напряжения «



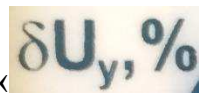
» (U, V). Затем



нажатием клавиши «SEL» выбираем фазу L1 (мигающий символ на дисплее прибора в левой части), которая соответствует фазе A. На дисплее появляется значение данного напряжения под индексом L1. Полученную величину заносим в таблицу 4.9. Повторно нажимаем на клавишу «SEL», на дисплее появится напряжение фазы L2, которое соответствует фазе B, полученное значение заносим в таблицу 4.9. Вновь нажимаем на клавишу «SEL» на дисплее появится напряжение фазы L3, которое соответствует фазе C, полученное значение заносим в таблицу 4.9. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение линейного напряжения L1–L2 ( $U_{AB}$ ), полученное значение записываем в таблицу 4.9. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение линейного напряжения L1–L3 ( $U_{AC}$ ), полученное значение записываем в таблицу 4.9. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение линейного напряжения L2–L3 ( $U_{BC}$ ), полученное значение записываем в таблицу 4.9.

4.4) Поворотный переключатель функций регистратора устанавливаем в

положение измерения отклонения напряжения (от номинального) «



» ( $\delta U_y$ , V). Нажатием клавиши «



» (SET UP) выбираем измеряемую величину отклонения напряжения в процентах(%) от номинального напряжения. Через короткий промежуток времени на дисплее появится значение отклонения напряжения фазы L1 (фаза A), полученное значение записываем в таблицу 4.9. Нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение отклонения напряжения фазы L2 (фаза B), полученное значение записываем в таблицу 4.9. Вновь нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение отклонения напряжения фазы L3 (фаза C), полученное значение записываем в таблицу 4.9. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение отклонения линейного напряжения L1–L2 ( $U_{AB}$ ),



полученное значение записываем в таблицу 4.9. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение отклонения линейного напряжения L1–L3 ( $U_{AC}$ ), полученное значение записываем в таблицу 4.9. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение отклонения линейного напряжения L2–L3 ( $U_{BC}$ ), полученное значение записываем в таблицу 4.9.

4.5) Поворотный переключатель функций регистратора устанавливаем в положение измерения кратковременной и длительной дозы фликера «




» ( $P_{st} / P_{lt}$ ). Так как по ГОСТ 13109–97 интервал времени для измерения значения кратковременной дозы фликера – 10 минут, что соответствует отведенному времени для выполнения лабораторной работы, а для длительной дозы – 12 интервалов (2 часа), что превышает время, отведенное на выполнение лабораторной работы, то соответственно снимаем




только кратковременную дозу фликера. С помощью клавиш «», «» выбираем параметр измерения кратковременной дозы фликера  $M P_{st}$ .



Нажатием клавиши «» (START), запускаем измерение кратковременной дозы фликера, одновременно производится для всех 3-х фаз. На жидкокристаллическом дисплее (через небольшой промежуток времени) отображается время, оставшееся до завершения измерения. После окончания времени, нажимаем клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L1 появляется значение фликера фазы А, полученную величину заносим в таблицу 4.9. Вновь нажимаем на клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L2 появляется значение фликера фазы В, полученную величину заносим в таблицу 4.9. Снова нажимаем клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L3 появляется значение фликера фазы С, полученную величину заносим в таблицу 4.9.

4.6) Поворотный переключатель функций регистратора устанавливаем в



положение измерения частоты сети «»  $f$ , Гц. Затем нажимаем клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L1 появляется значение частоты переменного тока фазы А, записываем полученную величину в таблицу 4.9. Снова нажимаем клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L2 появляется значение частоты переменного тока фазы В, записываем полученную величину в таблицу 4.9. Вновь нажимаем клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L3 появляется значение частоты переменного тока фазы С, записываем полученную величину в таблицу 4.9.

4.7) Тумблер SA1 переводим в положение 2, которое соответствует мощности каждой лампочки 60 Вт. Повторяем алгоритм действий приведенных в пунктах 4.3 – 4.6. После выполнения измерений и фиксации данных тумблер SA1 переводим в среднее положение, автоматический выключатель QF2 отключаем. Делаем вывод, как влияет изменение активной нагрузки на изменение качества электрической энергии.

4.8) Включаем автоматический выключатель QF3, подающий питание на импульсную нагрузку. Тумблер SA2 переводим в положение 1, которое соответствует мощности каждой светодиодной лампы 6,5Вт. Повторяем алгоритм действий, приведенных в пунктах 4.3 – 4.6. После выполнения измерений и фиксации данных, тумблер SA2 переводим в положение 2, которое соответствует мощности каждой светодиодной лампы 10Вт, повторяем алгоритм действий приведенных в пунктах 4.3 – 4.6. После выполнения измерений и фиксации данных, тумблер SA2 переводим в среднее положение, автоматический выключатель QF3 отключаем. Делаем вывод, как влияет изменение импульсной нагрузки на изменение качества электрической энергии.

4.9) Включаем автоматический выключатель QF4, подающий питание на емкостную нагрузку. Тумблеры SA4, SA5, SA6 переводим в положение 1 (рычажок тумблера направлен в противоположную сторону от конденсаторов). Это указывает на то, что конденсаторы C4, C5, C6 отключены от сети. Емкость каждого конденсатора C1, C2, C3 составляет 20мкФ. Повторяем алгоритм действий приведенных в пунктах 4.3-4.6. После выполнения измерений и фиксации данных, тумблеры SA4, SA5, SA6 переводим в положение 2 (рычажок тумблера направлен в сторону конденсаторов). Емкость каждого конденсатора C4, C5, C6 равна 45мкФ. Емкость каждой фазы сети составит 65мкФ. Повторяем алгоритм действий приведенных в пунктах 4.3-4.6. После выполнения измерений и фиксации данных, тумблеры SA4 и SA5 переводим в положение 1, создавая тем самым неравномерную нагрузку. Повторяем алгоритм действий приведенных в пунктах 4.3-4.6. После выполнения измерений и фиксации данных автоматический выключатель QF4 отключаем. Делаем вывод, как влияет изменение, и неравномерность нагрузки на показатели качества электрической энергии

4.10) Включаем автоматический выключатель QF5, подающий питание на индуктивную нагрузку (представленную в виде преобразователь-двигатель постоянного тока). Повторяем алгоритм действий приведенных в пунктах 4.3-4.6. После выполнения измерений и фиксации данных, автоматический выключатель QF5 отключаем. Делаем вывод, как влияет индуктивная нагрузка на показатели качества электрической энергии

Таблица 4.9 – Анализ отклонения напряжений и частоты, фиксация дозы фликера

$U, В$		$\delta U_y, \%$		$P_{st}$	$f, Гц$
фазное	междуфазное	фазное	междуфазное		
Активная нагрузка					
L1=26	L1-L2= 45	L1=0,3	L1-L2=0,2	L1=0,36	L1=50,00
L2=25,9	L1-L3=45,2	L2= -0,7	L1-L3=0,2	L2=0,38	L2=49,99
L3=26	L2-L3=45	L3= -0,7	L2-L3= -0,4	L3=0,32	L3=49,99

Продолжение таблицы 4.9

Импульсная нагрузка					
L1=26,2	L1-L2=45,5	L1=0,3	L1-L2=0,8	L1=0,36	L1=50,00
L2=26,1	L1-L3=45,8	L2=1,5	L1-L3=1,5	L2=0,43	L2=49,99
L3=26,3	L2-L3=45,5	L3=0,7	L2-L3=0,8	L3=0,34	L3=50,00
Емкостная нагрузка					
L1=26,3	L1-L2=45,6	L1=1,1	L1-L2=1,5	L1=0,41	L1=49,99
L2=26,1	L1-L3=46	L2=0,7	L1-L3=1,7	L2=0,39	L2=49,99
L3=26,4	L2-L3=45,6	L3=1,5	L2-L3=1,1	L3=0,32	L3=49,98
Индуктивная нагрузка					
L1=26,3	L1-L2=45,6	L1=1,1	L1-L2=0,8	L1=0,41	L1=50,01
L2=26	L1-L3=45,8	L2=0,7	L1-L3=1,7	L2=0,41	L2=50,01
L3=26,3	L2-L3=45,4	L3=0,7	L2-L3=0,6	L3=0,29	L3=50,01

**5) Анализ несинусоидальности и определение наличия высших гармоник в токе нагрузки, в фазных и линейных напряжениях сети.**

Подключим блок питания осциллографа Fluke 196с к сети напряжением 220В с помощью штепсельного разъема.


5.1) Для снятия осциллограмм тока, фазных и линейных напряжений, при характере нагрузки активной, импульсной, емкостной, индуктивной и анализа этих осциллограмм на наличие высших гармоник используем щупы канала «А» осциллографа Fluke 196с.

5.2) Включаем автоматический выключатель **QF2**, подающий питание на активную нагрузку, тумблер **SA1** переводим в положение **1**. Для снятия осциллограммы тока, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B3**), (**B4**) на его лицевой части.

5.3) Включаем осциллограф нажатием клавиши подачи питания «»

Закрываем информационное окно на экране нажатием клавиши «F4

» (F4). Нажимаем клавишу «SCOPE» (SCOPE), на жидкокристаллическом

дисплее появляется меню. Нажимаем клавишу «F2» (F2), появляется меню выбора измеряемого параметра «Reading 1» стрелками на панели





выбираем соответствующий опыту параметр измерения ( $V_{ac}$  – измерение осциллограммы переменного напряжения;  $V_{dc}$  – измерение осциллограммы постоянного напряжения,  $A_{ac}$  – измерение осциллограммы тока), после выбора параметра зафиксировать его нажатием клавиши «F4», на дисплее высвечивается меню выбора пределов измерения, нажимаем клавишу



«F4». Далее нажатием клавиши «**AUTO/MANUAL**» (AUTO/MANUAL) выбираем автоматический режим регулирования осциллограммы. Зафиксируем



осциллограмму нажатием клавиши «**HOLD/RUN**» (HOLD/RUN). Сделаем фотографию осциллограммы. По окончании эксперимента нажимаем клавишу «HOLD/RUN». Отключаем осциллограф.

Осциллограмма тока активной нагрузки представлена на рисунке 4.10

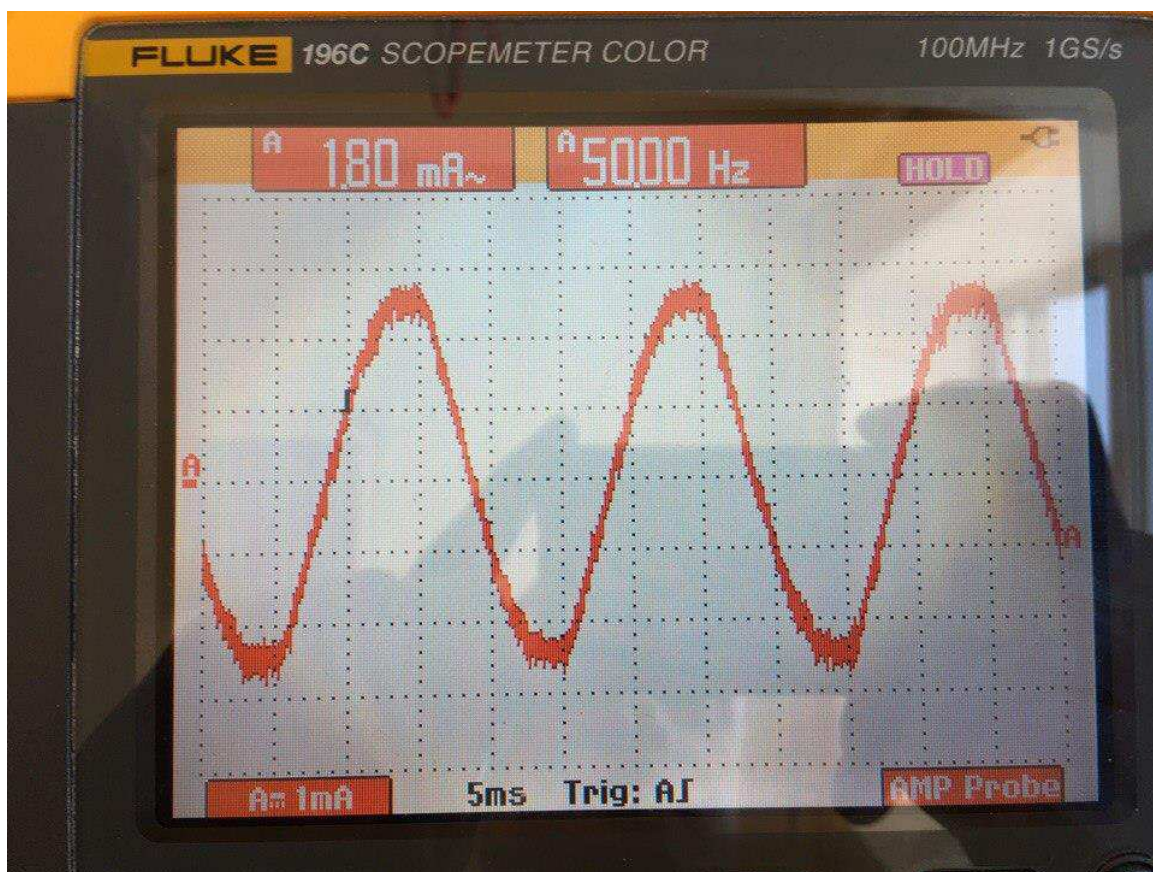


Рисунок 4.10 – Осциллограмма тока при активной нагрузке

5.4) Для снятия осциллограммы фазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В3), (N1) на его лицевой части.



Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3. Осциллограмма фазного напряжения активной нагрузки представлена на рисунке 4.11

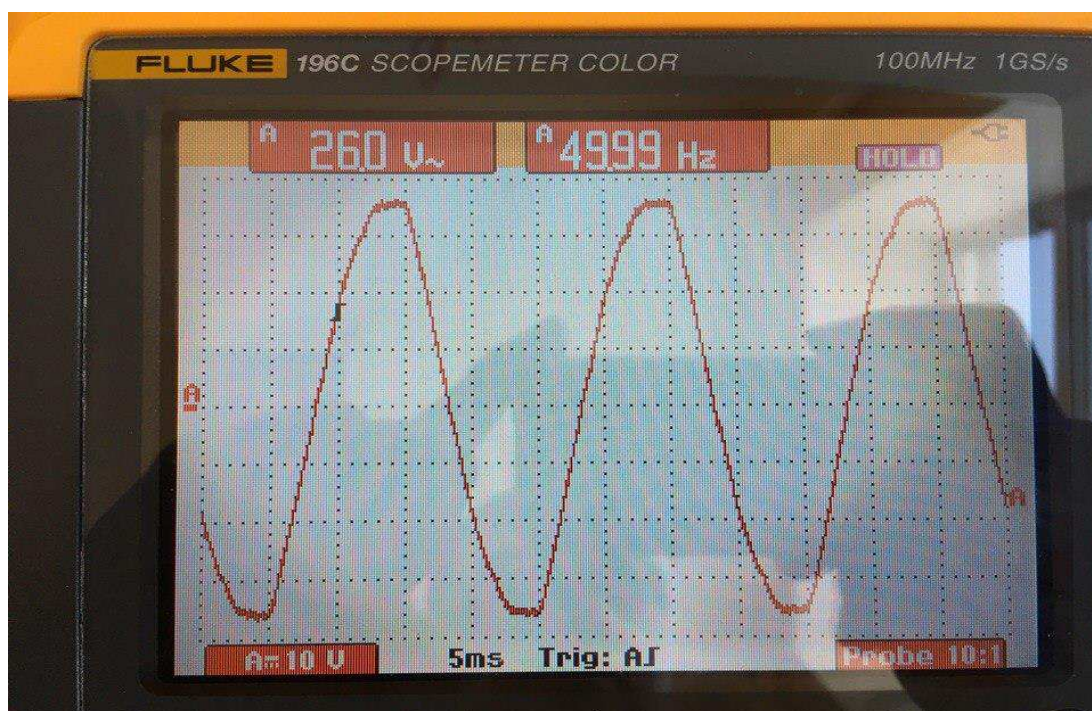


Рисунок 4.11 – Осциллограмма фазного напряжения при активной нагрузке

5.5) Для снятия осциллограммы междуфазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В3), (А1) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3. Осциллограмма междуфазного напряжения активной нагрузки представлена на рисунке 4.12

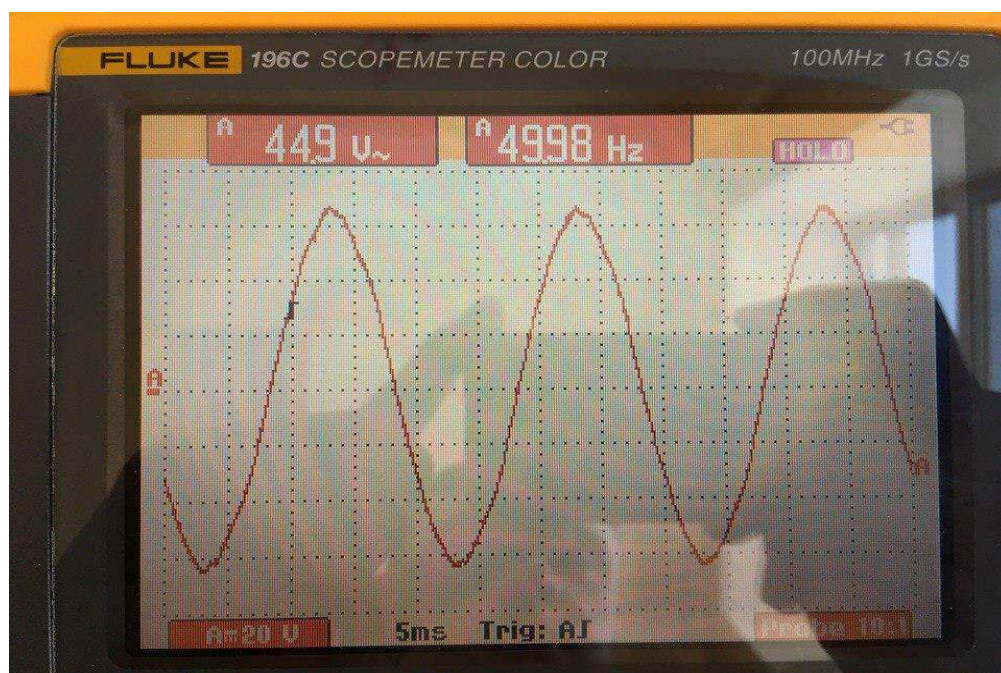




Рисунок 4.12 – Осциллограмма междуфазного напряжения при активной нагрузке

5.6) Тумблер **SA1** переводить в положение **2**, для снятия осциллограмм на активной нагрузке большей мощности, не является обязательным потому как, в данном эксперименте мощность не оказывает влияния на искажения синусоиды тока и напряжения.

5.7) Переводим тумблер **SA1** в среднее положение, отключаем автоматический выключатель **QF2**.

5.8) Анализируем полученные осциллограммы на наличие высших гармоник, делаем вывод.

5.9) Включаем автоматический выключатель **QF3**, подающий питание на импульсную нагрузку, тумблер **SA2** переводим в положение **1**. Для снятия осциллограммы тока, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B7**), (**B8**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3. Осциллограмма тока импульсной нагрузки представлена на рисунке 4.13

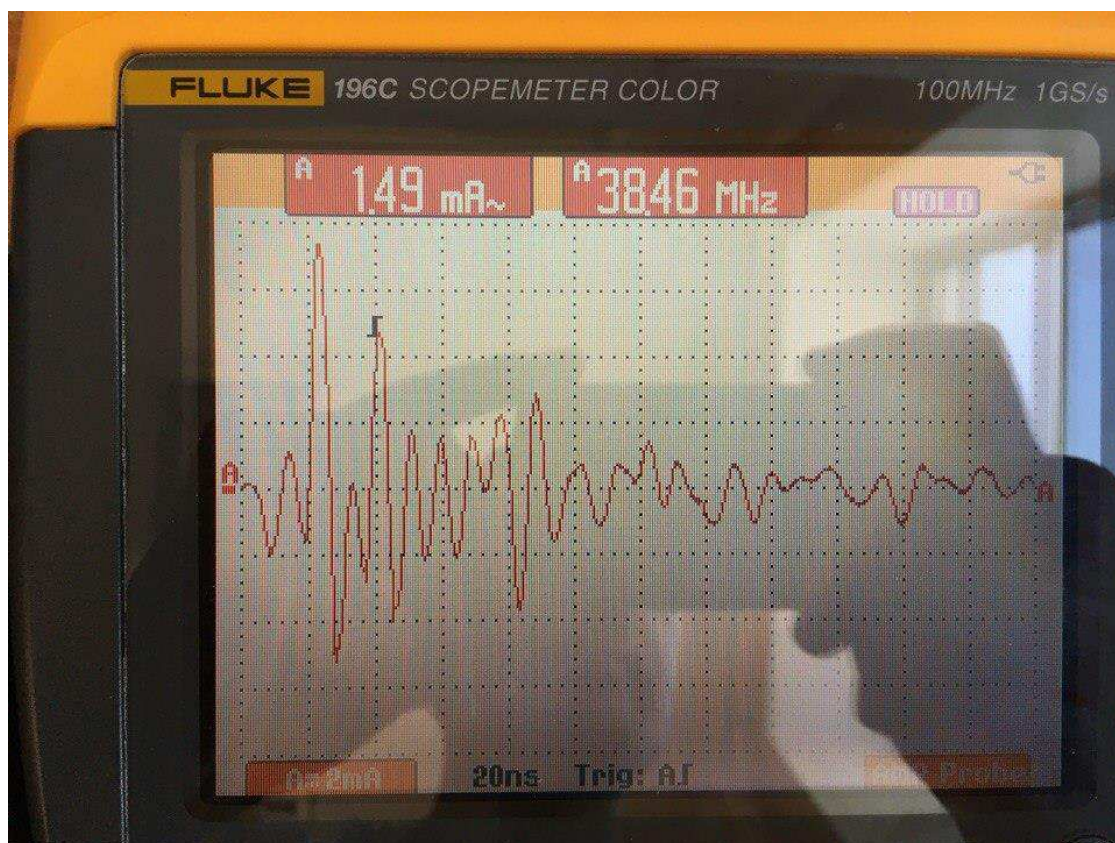


Рисунок 4.13 – Осциллограмма тока при импульсной нагрузке

5.10) Для снятия осциллограммы фазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B7**), (**N1**) на его лицевой части.



Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3. Осциллограмма фазного напряжения импульсной нагрузки представлена на рисунке 4.14

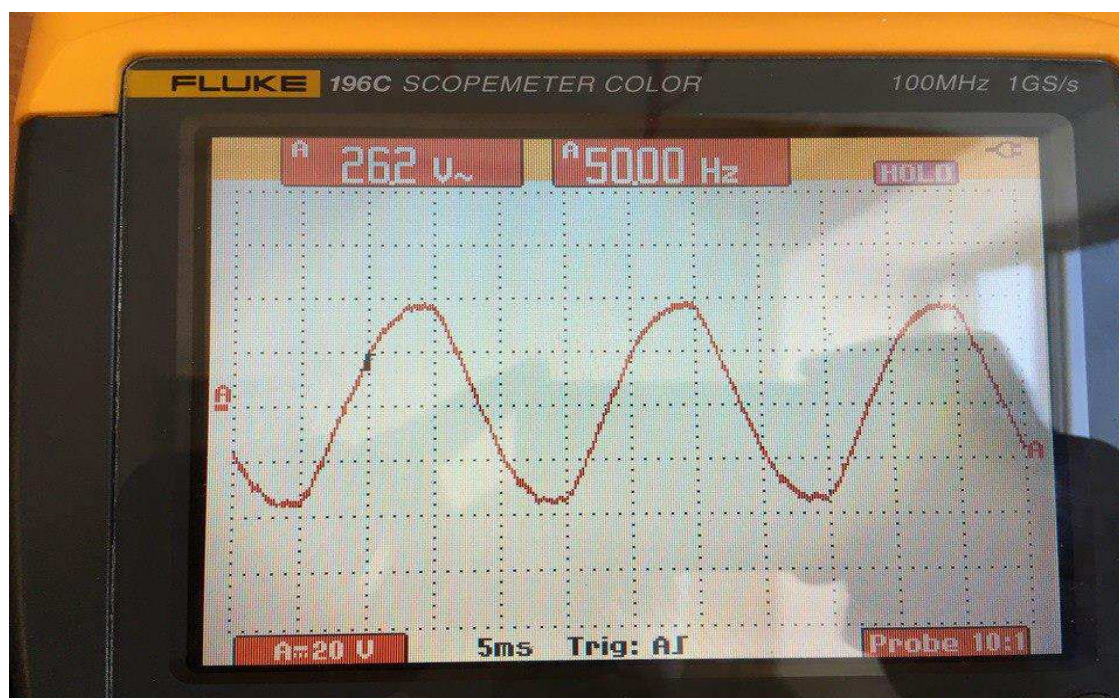


Рисунок 4.14 – Осциллограмма фазного напряжения при импульсной нагрузке

5.11) Для снятия осциллограммы междофазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В7), (А1) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3. Осциллограмма междофазного напряжения импульсной нагрузки представлена на рисунке 4.15

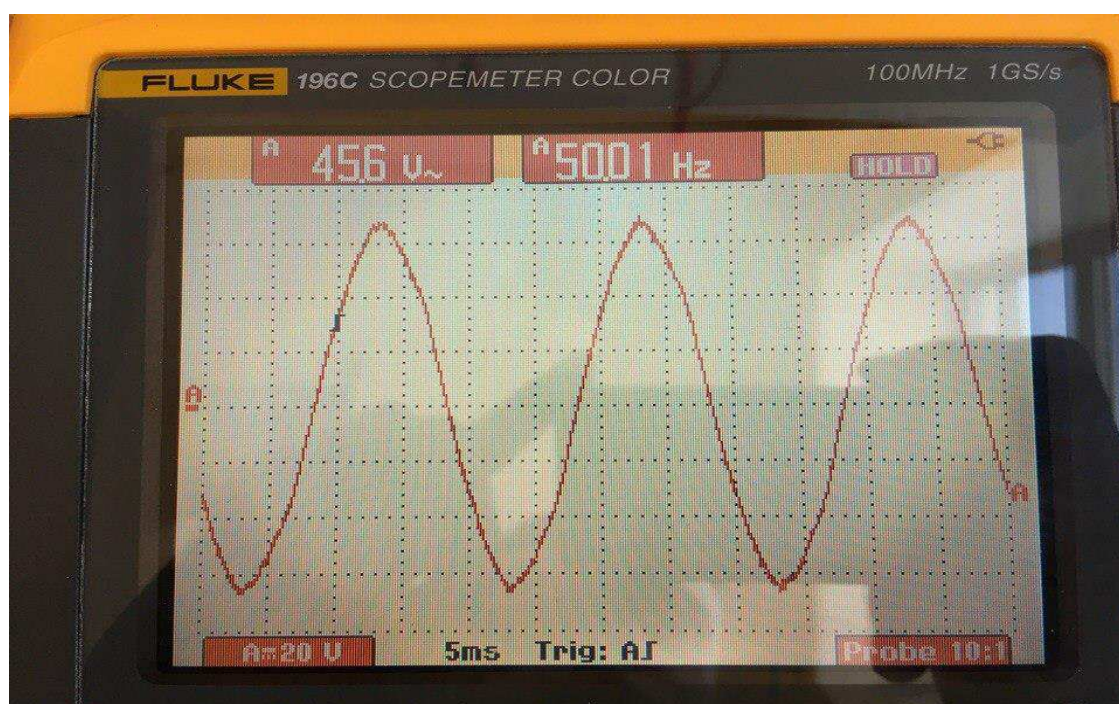




Рисунок 4.15 – Осциллограмма междофазного напряжения при импульсной нагрузке

5.12) Тумблер **SA2** переводить в положение **2**, для снятия осциллограмм на импульсной нагрузке большей мощности, не является обязательным потому как, в данном эксперименте мощность не оказывает влияния на искажения синусоиды тока и напряжения.

5.13) Переводим тумблер **SA2** в среднее положение, отключаем автоматический выключатель **QF3**.

5.14) Анализируем полученные осциллограммы на наличие высших гармоник, делаем вывод.

5.15) Включаем автоматический выключатель **QF4**, подающий питание на емкостную нагрузку, тумблеры **SA4–SA6** оставляем в исходном положении (1). Для снятия осциллограммы тока, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B11**), (**B12**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3. Осциллограмма тока емкостной нагрузки представлена на рисунке 4.16

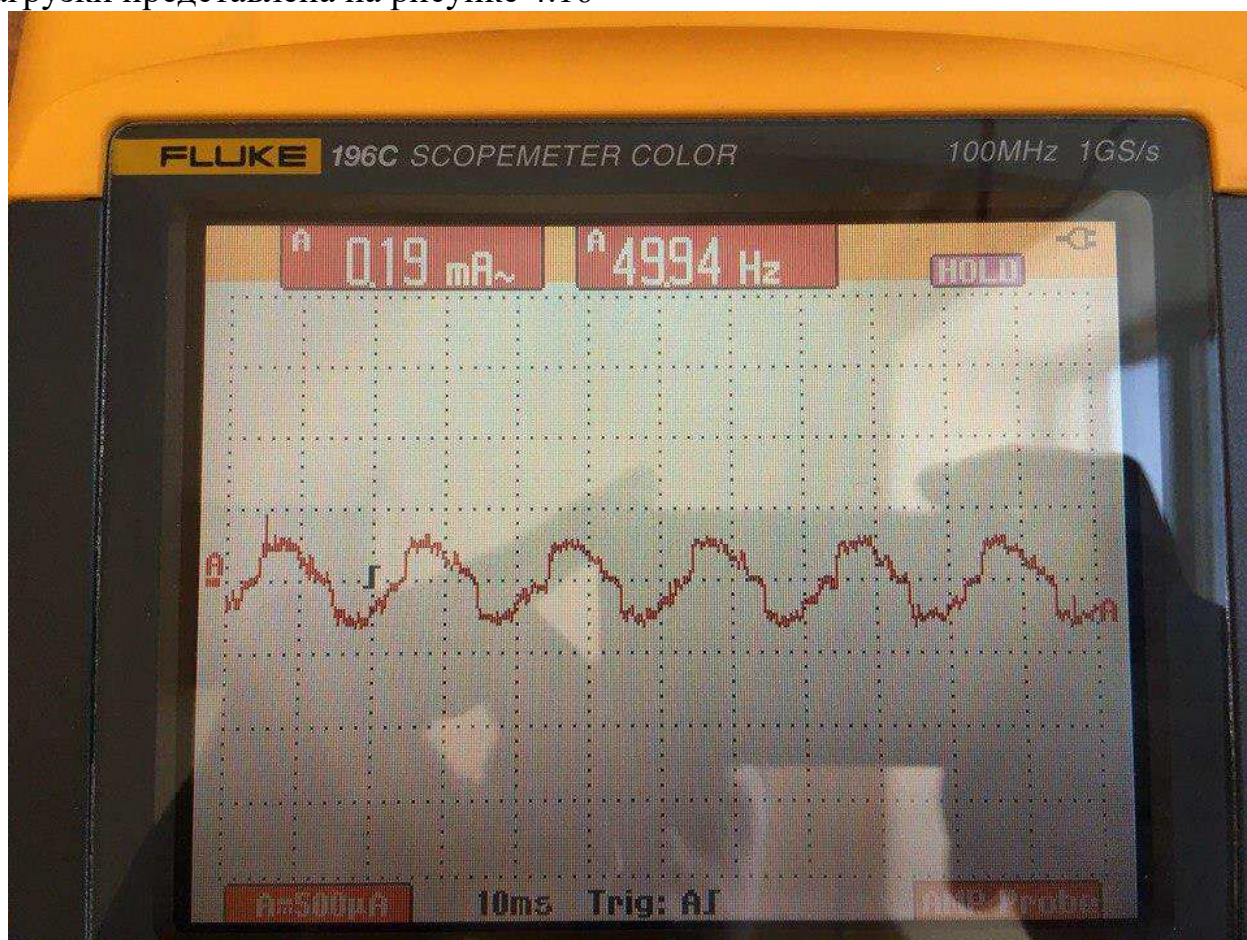


Рисунок 4.16 – Осциллограмма тока при емкостной нагрузке

5.16) Для снятия осциллограммы фазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B11**), (**N1**) на его лицевой части.



Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3. Осциллограмма фазного напряжения емкостной нагрузки представлена на рисунке 4.17

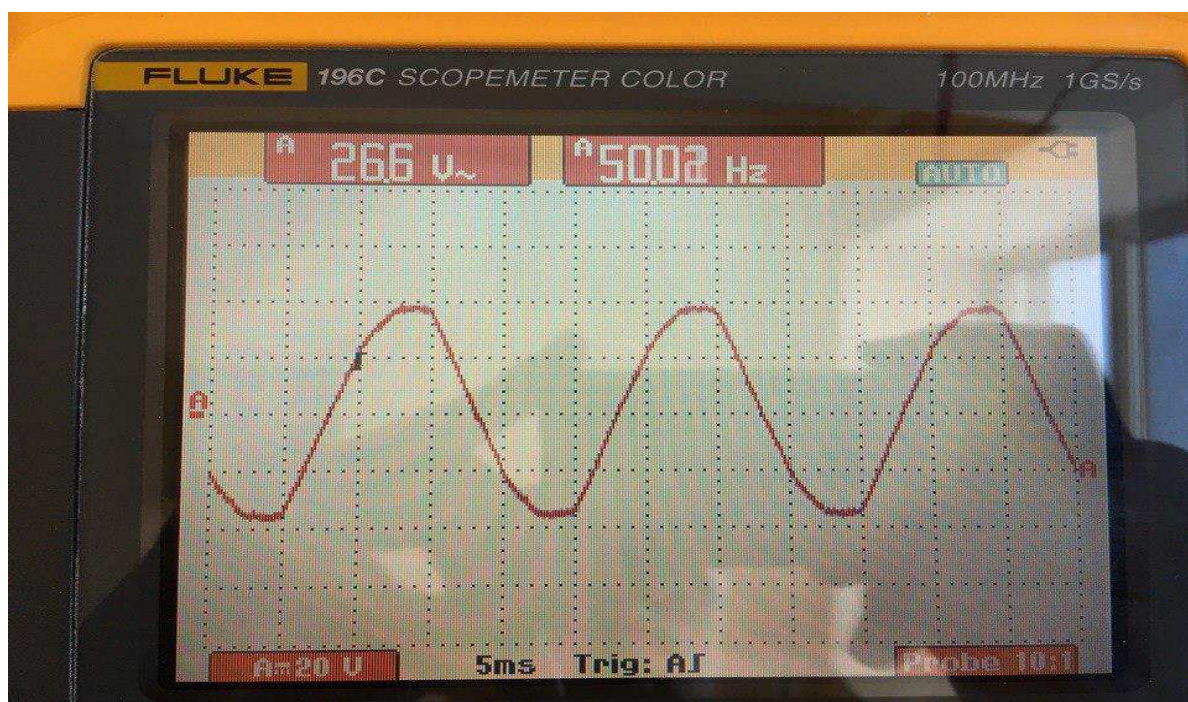


Рисунок 4.17 – Осциллограмма фазного напряжения при емкостной нагрузке

5.17) Для снятия осциллограммы междуфазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В11), (А1) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3. Осциллограмма междуфазного напряжения емкостной нагрузки представлена на рисунке 4.18

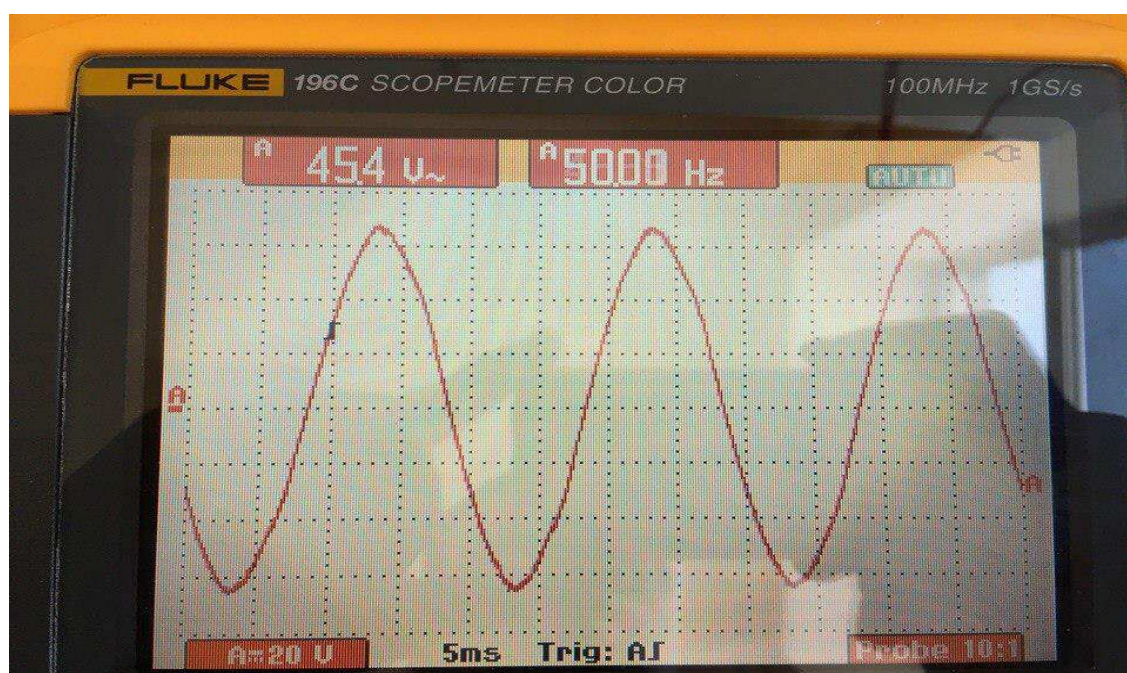




Рисунок 4.18 – Осциллограмма междуфазного напряжения при емкостной нагрузке

5.18) Тумблеры **SA4–SA6** переводить в положение, подключающее конденсаторы большей емкости для снятия осциллограмм на емкостной нагрузке, не является обязательным потому как, в данном эксперименте мощность не оказывает влияния на искажения синусоиды тока и напряжения.

5.19) Отключаем автоматический выключатель **QF4**.

5.20) Анализируем полученные осциллограммы на наличие высших гармоник, делаем вывод.

5.21) Включаем автоматический выключатель **QF5**, подающий питание на индуктивную нагрузку. Для снятия осциллограммы тока, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B13**), (**B14**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3. Осциллограмма тока индуктивной нагрузки представлена на рисунке 4.19

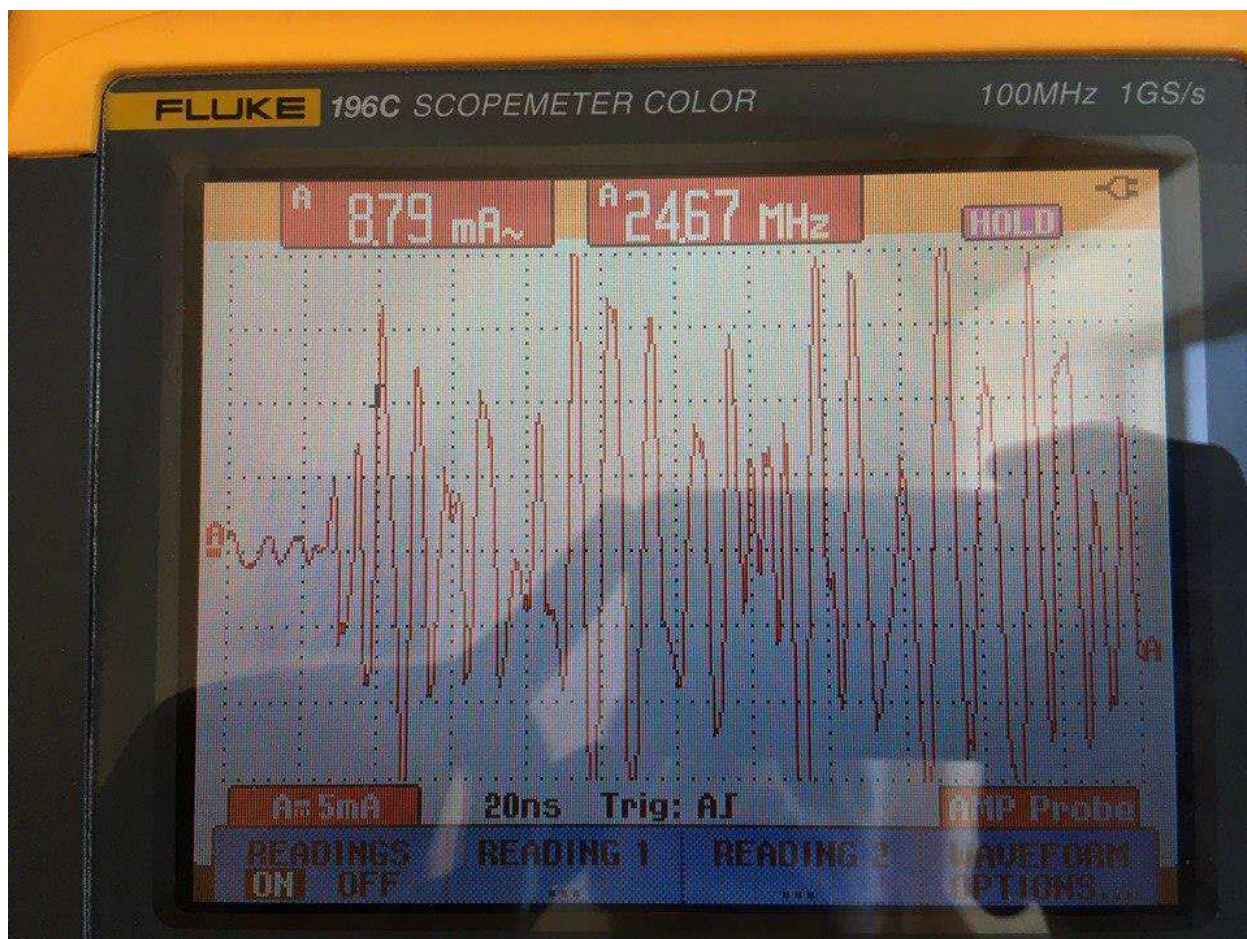


Рисунок 4.19 – Осциллограмма тока при индуктивной нагрузке

5.22) Для снятия осциллограммы фазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B13**), (**N1**) на его лицевой части.

Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3. Осциллограмма фазного напряжения индуктивной нагрузки представлена на рисунке 4.20

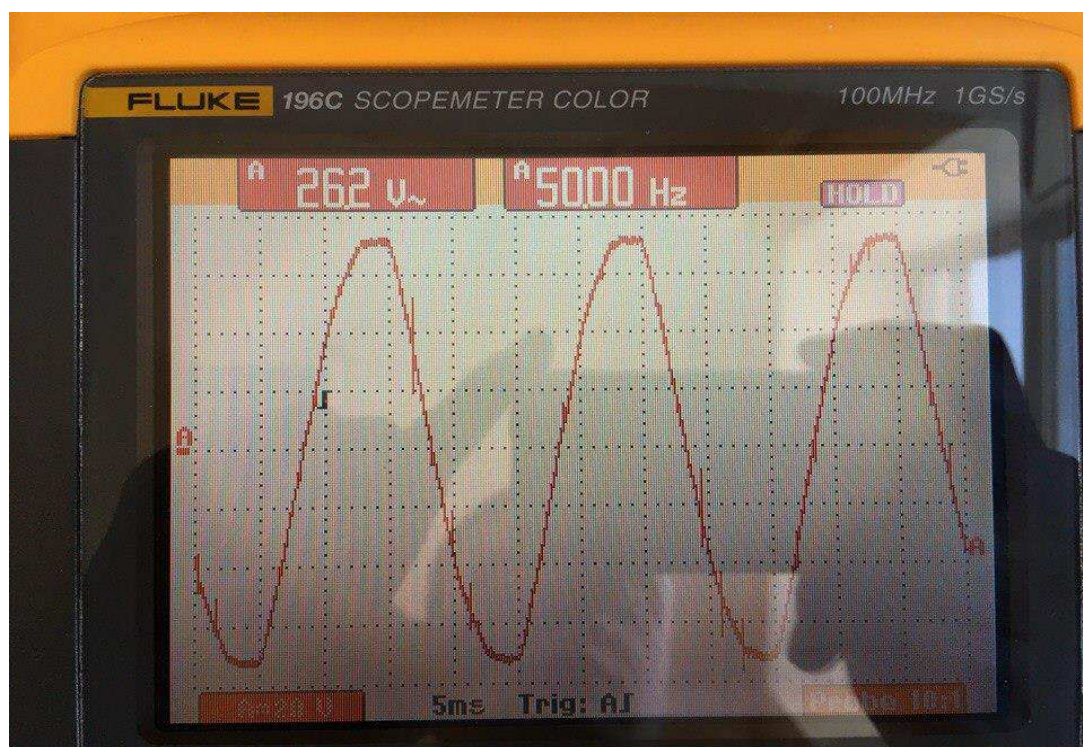


Рисунок 4.20 – Осциллограмма фазного напряжения при индуктивной нагрузке

5.23) Для снятия осциллограммы межуфазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B13**), (**A1**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3. Осциллограмма межуфазного напряжения индуктивной нагрузки представлена на рисунке 4.21



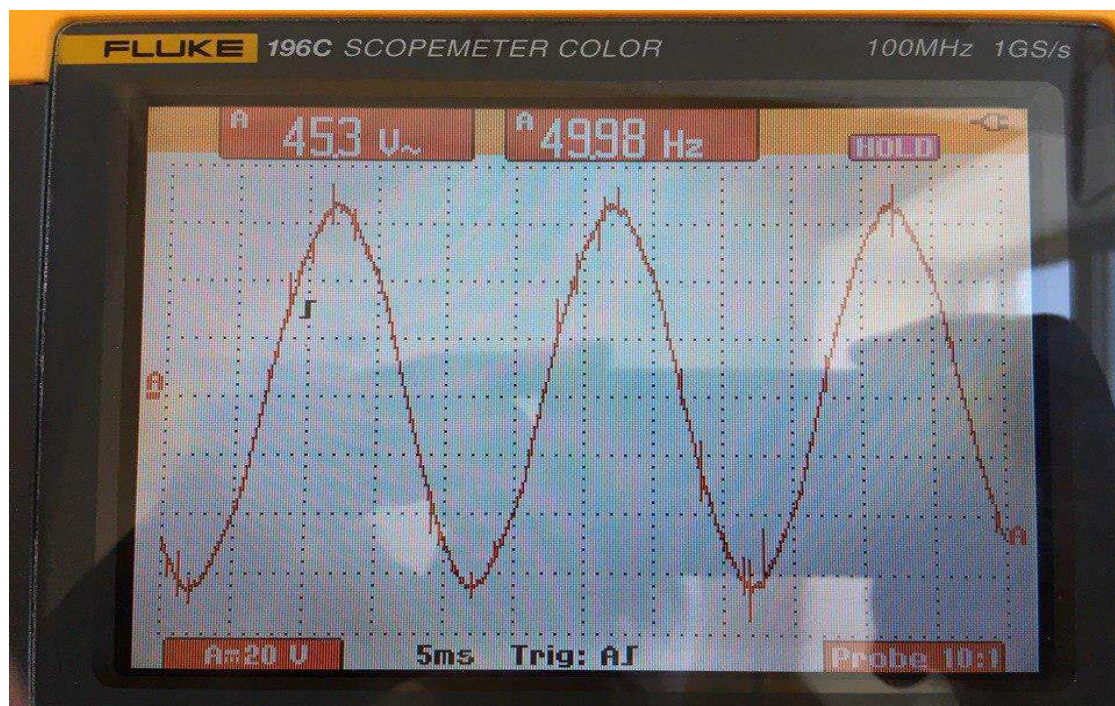


Рисунок 4.21 – Осциллограмма междуфазного напряжения при индуктивной нагрузке

5.24) Отключаем автоматический выключатель **QF5**.

5.25) Анализируем полученные осциллограммы на наличие высших гармоник, делаем вывод.

5.26) Стенд позволяет анализировать не только отдельные виды нагрузок, но и варианты комбинаций этих нагрузок.

Варианты комбинаций нагрузок, необходимая коммутация и указания гнезд для подключения щупов осциллографа приведены в таблице 4.10

Таблица 4.10 – Варианты комбинаций нагрузок

№ п.п.	Вариант комбинации нагрузок	Необходимая коммутация	Клеммы в которые подключаются щупы осциллографа		
			Ток нагрузки	Фазное напряжение	Междуфазное напряжение
1.	Лампочки $P=40\text{Вт}$ , конденсаторы $C=20\text{мкФ}$	QF1, QF2, QF4, SA1 (1)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
2.	Лампочки $P=40\text{Вт}$ , конденсаторы $C=20+45=65\text{мкФ}$	QF1, QF2, QF4, SA1 (1) SA4, SA5, SA6	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
3.	Лампочки $P=40\text{Вт}$ , конденсаторы $C= 20\text{мкФ}$ , неравномерный	QF1, QF2, QF4, SA1 (1), SA4	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2

	несимметричный режим				
4.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт	QF1, QF2, QF3, SA1 (1), SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
5.	Лампочки P=40Вт, двигатели	QF1, QF2, QF5, SA1 (1)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
6.	Светодиоды P=10Вт, конденсаторы C=20мкФ	QF1, QF3, QF4, SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
7.	Светодиоды P=10Вт, конденсаторы C=20+45=65мкФ	QF1, QF3, QF4, SA2 (2), SA4, SA5, SA6	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
8.	Светодиоды P=6,5Вт, двигатели	QF1, QF3, QF5, SA2 (1)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
9.	Светодиоды P=10Вт, двигатели	QF1, QF3, QF5, SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
10.	Конденсаторы C=20мкФ, двигатели	QF1, QF4, QF5	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
11.	Конденсаторы C=20+45=65мкФ, двигатели	QF1, QF4, QF5, SA4, SA5, SA6	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2

Продолжение таблицы 4.11

12.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт,  Конденсаторы C=20мкФ	QF1, QF2, QF3, QF4, SA1 (1), SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
13.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт,  Конденсаторы C=20+45=65мкФ	QF1, QF2, QF3, QF4, SA1 (1), SA2 (2), SA4, SA5, SA6	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
14.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=6,5Вт,  двигатели	QF1, QF2, QF3, QF5, SA1 (1), SA2 (1)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
15.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт,	QF1, QF2, QF3, QF5, SA1 (1), SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2

	двигатели				
16.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт,  Конденсаторы C=20мкФ, двигатели	QF1, QF2, QF4, QF5, SA1 (1), SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
17.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт,  Конденсаторы C=20+45=65мкФ, двигатели	QF1, QF2, QF4, QF5, SA1 (1), SA2 (2), SA4, SA5, SA6	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
18.	Перенапряжения при коммутации конденсаторов C=20мкФ	QF1,  QF4 включаем и фиксируем осциллограмму; QF4 отключаем и фиксируем осциллограмму	-	B12 – «земля»	A2 – B2
19.	Перенапряжения при коммутации конденсаторов C=20+45=65мкФ	QF1,  QF4 включаем и фиксируем осциллограмму; QF4 отключаем и фиксируем осциллограмму	-	B12 – «земля»	A2 – B2
20.	Перенапряжения при коммутации двигателей	QF1, QF5 включаем и фиксируем две осциллограммы по постоянному и переменному напряжению; QF5 отключаем и фиксируем две осциллограммы по постоянному и переменному напряжению	-	1ый канал: «+» - «земля»  2ой канал: C3 –N5	A2 – B2

В скобках указано положение тумблера.

5.27) Для снятия осциллограмм по каждому из параметров (ток нагрузки, фазное напряжение, междуфазное напряжение) необходимо осциллограф подключить к клеммам указанным в таблице 4.11. Для измерения каждого параметра повторить пункт 5.3.

5.28) В каждом варианте с помощью прибора REN-700 измеряем: частоту тока в сети, фазные и линейные напряжения, кратковременную дозу фликера,

отклонение фазного и линейного напряжения в процентах. Измерение указанных параметров необходимо проводить в последовательности указанной в пунктах 4.3-4.6.

#### **4.5.2 Алгоритм выполнения лабораторной работы «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с изолированным режимом нейтрали»**

Алгоритм выполнения данной лабораторной работы выполняется в следующей последовательности.

1) Выбираем изолированный режим нейтрали – тумблер SA3 переводим в положение 0.

2) Выполняем последовательно пункты 3 – 5.28, приведенные в подразделе 4.5.1

#### 4.6 Выводы по разделу 4

На основании вышеизложенного можно сделать следующие основные выводы по разделу:

1. Электрическая схема стенда практически соответствует принципиальной схеме, полученной при виртуальном моделировании.

2. Параметры схемы, выбранное оборудование и измерительные приборы позволяют получить точные данные, которые совпадают с расчетными значениями. Это указывает на то, что схема стенда максимально отражает реальные условия эксплуатации.

3. На основании апробации работы стенда необходимо разработать методическое обеспечение к данной лабораторной работе.

## **5 Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали»**

Методическое обеспечение включает в себя два основных раздела:

- 1) методические указания к лабораторным работам;
- 2) возможные варианты выполнения лабораторной работы с исходными данными и полученными результатами.

Методические указания предназначены для студентов и отражают последовательность выполнения лабораторных работ в зависимости от вариантов, которые выдает преподаватель.

Исходные данные с полученными результатами для каждого варианта предназначены для преподавателя с целью проверки достоверности полученных результатов студентами.

### **5.1 Методические указания к лабораторной работе: «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали»**



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

**Сибирский Федеральный Университет**

**Институт горного дела, геологии и геотехнологий**

# **«Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали»**

**Методические указания к  
лабораторной работе для студентов  
электротехнических  
специальностей**

**Красноярск 2018**

### 5.1.1 Введение

Задачи, стоящие перед высшей школой на современном этапе, требуют повышения качества подготовки специалистов, усиления их практического обучения. Большая роль в совершенствовании учебного практического обучения в вузах принадлежит увеличению доли лабораторно-практических занятий в общем объеме изучаемых дисциплин. Эта форма обучения больше, чем любая другая, позволит обеспечить единство теории и практики.

Целью методических указаний является помощь студентам в поиске необходимой информации при изучении курса «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанции» и выполнении соответствующих лабораторных работ, что особенно важно в условиях имеющегося дефицита научно-технической литературы в данном направлении.

Содержание учебного пособия соответствует государственным образовательным стандартам и рабочим программам для студентов электротехнических специальностей вузов.

### 5.1.2 Техника безопасности при работах в лаборатории

Безопасность проведения и выполнения лабораторных работ является важнейшим условием учебного процесса. Несоблюдение правил техники безопасности и неосторожное обращение с электрическими аппаратами, схемами стендов лабораторных работ могут привести к тяжелым несчастным случаям.

Для предупреждения несчастных случаев все студенты, проводящие лабораторные работы, практические занятия или ведущие научно-исследовательские эксперименты в лаборатории и мастерской, должны знать и строго выполнять все требования по технике безопасности для каждого вида и рода работ, после инструктажа по технике безопасности они должны расписываться в специальном журнале.

Включение схемы под напряжение производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания произойдет автоматическое срабатывание автоматического выключателя и стенд обесточится. При повреждении прибора в собранной схеме студент должен немедленно отключить пакетный выключатель на лицевой панели стенда и, **не делая попыток к исправлению, сообщить о повреждении преподавателю или лаборанту.**

В случае прекращения опыта или перерыва в работе схему надо обязательно отключить от сети.

Все изменения в соединениях (согласно программе проведения каждой лабораторной работы) должны производиться только при отключенном рабочем щите. После каждого изменения соединений – до включения



напряжения – схема должна быть вновь проверена преподавателем или лаборантом.

Во время выполнения работы запрещается:

производить переключения в рабочей схеме, находящейся под напряжением;

прикасаться к оголенным токоведущим частям установок;

оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением;

включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и рубильники.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов **необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.**

### **5.1.3 Общие указания по оформлению отчетов**

Отчеты по выполненным работам оформляют с использованием персонального компьютера.

Схемы, таблицы и графики можно вычерчивать в карандаше, но обязательно с применением чертежных принадлежностей. Элементы схемы должны быть изображены по ГОСТу. Значения аргумента следует откладывать по горизонтальной оси, а значения функции – по вертикальной. Вдоль осей наносят масштабные шкалы, деления которых должны быть равномерными. Числовые значения следует указывать против соответствующих делений.

После нанесения экспериментально полученных точек на график, следует провести плавную линию, проходящую по возможности ближе к этим точкам.

При большом количестве кривых на одном графике рекомендуется изображать их штриховыми, штрихпунктирными или цветными линиями.

Следует избегать графиков, в которых деления в начале координат начинаются не с нулевого значения. Такие графики не дают представления о характере рассматриваемых зависимостей.

В конце каждой выполненной и оформленной работы должна стоять подпись студента.

Защита лабораторных работ осуществляется согласно графику, утвержденному преподавателем.

Конкретные указания по содержанию отчетов приводятся в конце описания каждой лабораторной работы.

### **5.1.4 Общие положения**

Вторичное оборудование, системы связи, кабели вторичной коммутации на протяжении всего срока службы подвергаются электромагнитным воздействиям разного вида. Невыполнения условий ЭМС приводит к

повреждению вторичного оборудования, неправильным действиям (отказам, излишним или ложным срабатываниям) устройств РЗА, перекрытию изоляции кабелей вторичной коммутации и клемм шкафов вторичной коммутации, сбоем в работе автоматизированных рабочих мест персонала и т.д., существенно снижает надежность работы энергообъекта.

Критерием выполнения условий ЭМС является обеспечение электромагнитной обстановки, при которой наибольшие возможные уровни электромагнитных воздействий всех видов на объекте электросетевого хозяйства не превышают допустимых значений для каждого конкретного вторичного оборудования.

ЭМС вторичного оборудования и систем связи достигается при выполнении основных требований:

- применение вторичного оборудования с высоким уровнем помехозащищенности;
- применение первичного и вторичного оборудования с ограниченным уровнем эмиссии электромагнитных воздействий;
- выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, обеспечивающих ограничение электромагнитных воздействий.

Каждое устройство испытывают на устойчивость к электромагнитным воздействиям. В технической документации на устройство производитель должен указывать уровень помехоустойчивости устройства, степень жесткости испытаний, а также уровень эмиссии электромагнитных воздействий. При аттестации оборудования, устанавливаемого на подстанциях, следует предъявлять требования по испытанию на помехоустойчивость и помехоэмиссию. Рекомендуемые степени жесткости испытаний и параметры испытательных воздействий для устройств вторичного оборудования и систем связи приведены в таблице 5.1.

Устойчивая и надежная работа вторичного оборудования и систем связи возможна только при условии создания на объекте ЭМО, при которой уровни электромагнитных воздействий всех видов не превышают допустимые для каждого конкретного устройства значения при условии, что сопротивление ЗУ не превышает 0,5 Ом.

Сопротивление заземляющего устройства определяется конструкцией ЗУ и электропроводностью грунта, таким образом электропроводность грунта будет косвенно влиять на функционирование МПУ.

Таблица 5.1 – Виды испытаний на помехоустойчивость и помехоэмиссию вторичного оборудования и рекомендуемые степени жесткости.

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
1	Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю. Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме) и импульсным напряжением.	ГОСТ 30328-95 МЭК 60255-5	-	2000 В переменного тока	Для всех портов питания и для портов проводных цепей, выходящих на РУ
<b>Порт корпуса</b>					
2	Магнитные поля промышленной частоты от силового оборудования в нормальных и аварийных режимах. На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты	ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8).	5 ст. жест.	100А/м (длительно), 1000А/м (кратковременно)	Для устройств чувствительных к магнитным полям
			2 ст. жест.	3А/м (длительно)	Для мониторов с электронно-лучевой трубкой
3	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от внешних и внутренних устройств связи. На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям	ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 61000-4-3).	Не ниже 3 ст. жест.	10В/м	Для всех устройств.
4	Импульсные магнитные поля от молнии и первичных цепей. На устойчивость к импульсному магнитному полю.	ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93).	Не ниже 4 ст. жест.	300А/м	Для устройств чувствительных к магнитным полям.
5	Разряды статического электричества с персонала. На устойчивость к разрядам статического электричества.	ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96).	Не ниже 3 ст. жест	5кВ контактный, 8кВ воздушный	Для всех устройств.
<b>Сигнальные порты</b>					
6	Импульсные помехи, возникающие при	ГОСТ Р 51317.4.12-99	Локальное Полевое	-	Для всех устройств.

Продолжение таблицы 5.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
	коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	(МЭК 61000-4-12-96)	1. ст. жест. (для однократных) 2 ст. жест. (для повторяющихся) <u>C</u> <u>оборудованием</u> 2.ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся)	2кВ (провод -земля), 1кВ (провод -провод)  1кВ (провод -земля), 0,5кВ (провод – провод)  4кВ(провод -земля), 2кВ противофазное 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод -провод)	
7	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	<u>Локальное</u> Провод -земля 2 ст. жест. Провод -провод 1 ст. жест. <u>Полевое</u> Провод -земля 3 ст. жест. Провод -провод 2 ст. жест. <u>C</u> <u>оборудованием</u> Провод -земля 4 ст. жест. Провод -провод 3 ст. жест.	1кВ 0,5 кВ  2кВ  1 кВ  4кВ 2 кВ	Для всех устройств.
8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	<u>Локальное</u> 3 ст. жест. <u>Полевое</u> 4 ст. жест.  <u>C</u> <u>оборудованием</u> Спец. Ст. жест.	1кВ 2кВ  4кВ	Для всех устройств.
9	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	3 ст. жест.	10 В	Для всех сигнальных портов.
<b>Питание постоянным током</b>					
10	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	30% (1с) 60% (0,1с)		Только для входных портов.

Продолжение таблицы 5.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
	Прерывания напряжения		100% (0,5с)		
11	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока.	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99).	Не ниже 3 ст. жест.	Пульсации не выше 10%.	Для всех портов питания постоянного тока.
12	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц.	ГОСТ Р 51317.4.16 - 2000 (МЭК 61000-4-16-96).	Не ниже 3 ст. жест.	10В (длительно) 100В (1с)	Для всех портов питания постоянного тока.
13	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	Провод -земля 3 ст. жест. Провод -провод 2 ст. жест.	2кВ 1 кВ	Для всех портов питания постоянного тока.
14	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	4кВ	Для всех портов питания постоянного тока.
15	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	3 ст. жест.	10 В	Для всех портов питания постоянного тока.
16	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся)	4кВ (провод - земля), 2кВ (провод -провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод -провод)	Для всех портов питания постоянного тока.

Продолжение таблицы 5.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
<b>Питание переменным током</b>					
17	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	30% (50 периодов) 60% (1 период)		Только для входных портов.
	Прерывания напряжения		100% (5 периодов)		
18	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока.	ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13).	В соответствии с рекомендациями настоящих МУ.		Для всех портов питания переменного тока.
	На устойчивость к колебаниям напряжения	ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000).			
	На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания	ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94).			
19	На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока	ГОСТ Р 51317.4..28 - 2000 (МЭК 61000-4-28-2000).			
20	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 ст. жест.	(10В)	Для всех портов питания переменного тока.
21	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся)	4кВ (провод -земля), 2кВ (провод - провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод - провод)	Для всех портов питания переменного тока.
22	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4- 4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	4кВ	Для всех портов питания переменного тока.

### Окончание таблицы 5.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
23	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96).	Провод -земля 4 ст. жест.  Провод -провод 3 ст. жест.	4кВ 2 кВ	Для всех портов питания переменного тока.
<b>Порт функционального заземления</b>					
24	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи применением емкостных клещей связи)	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	4кВ	Требования применяют к соединениям с функциональным заземлением, отделенным от защитного заземления.
25	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 ст. жест.	(10В)	10В=140дБ (мкВ)
<b>Помехоэмиссия</b>					
26	Радиопомехи от оборудования. Помехоэмиссия.	ГОСТ Р 51318.22- 99 (СИСПР 22-97) ГОСТ Р 51318.11-99 (СИСПР 11-97)	В соответствии с ГОСТ		

### 5.1.5 Термины и определения

Для целей настоящих методических указаний применяются следующие термины и их определения:

*Быстрое изменение напряжения* - быстрое изменение среднеквадратического напряжения между двумя последовательными уровнями установившегося напряжения.

*Внешние устройства молниезащиты* – комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

*Внешний контур заземления* (здания) – замкнутый горизонтальный заземлитель, проложенный вокруг здания.

*Внутреннее устройство заземления* (здания) – совокупность заземляющих проводников, расположенных внутри здания.

*Выносной заземлитель* – заземлитель, выполненный за пределами территории энергообъекта.

*Вторичное оборудование* – аппаратура (устройства) релейной защиты и электроавтоматики, противоаварийной автоматики; автоматизированной системы управления технологическим процессом; автоматизированной системы диспетчерского управления; системы сбора и передачи информации;

автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии; противопожарной системы; охранной сигнализации; видеонаблюдения; система оперативного постоянного тока; система собственных нужд напряжением 0,4кВ переменного тока; системы управления и сигнализации вспомогательного оборудования; система диагностики силового оборудования, контрольные кабели и т.п.

*Длительность перенапряжения* - интервал времени между моментом, когда напряжение в конкретной точке системы электроснабжения возрастает выше порогового значения начала перенапряжения, и моментом, когда напряжение падает ниже порогового значения окончания перенапряжения.

*Длительность провала напряжения* - интервал времени между моментом, когда напряжение в конкретной точке системы электроснабжения, падает ниже порогового значения начала провала напряжения, и моментом, когда напряжение возрастает выше порогового значения окончания провала напряжения.

*Заземляющее устройство* – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

*Заземлитель* – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

*Заземляющий проводник* (РЕ – проводники) – проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

*Зона нулевого потенциала* (относительная земля) – часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

*Излучаемая электромагнитная помеха* – электромагнитная помеха, распространяющаяся в пространстве.

*Импульсное напряжение* - перенапряжение, представляющее собой одиночный импульс или колебательный процесс (обычно сильно демпфированный), длительностью до нескольких миллисекунд.

*Класс* (степень) жесткости – соответствующий уровень испытательного электромагнитного воздействия.

*Кондуктивная электромагнитная помеха* – электромагнитная помеха, распространяющаяся в проводнике.

*Молниеприемник* – часть молниеотвода, предназначенная для перехвата молнии.

*Магистраль заземления* – заземляющий проводник с двумя или более ответвлениями.



*Напряжение гармонической составляющей* - среднеквадратическое значение синусоидального напряжения, частота которого является кратной основной частоте напряжения электропитания.

*Напряжение интергармонической составляющей* - среднеквадратическое значение синусоидального напряжения, частота которого не является кратной основной частоте напряжения электропитания.

*Напряжение прикосновения* – напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека.

*Несимметрия напряжений* - состояние трехфазной системы энергоснабжения переменного тока, в которой среднеквадратические значения основных составляющих междуфазных напряжений или углы сдвига фаз между основными составляющими междуфазных напряжений не равны между собой.

*Разность потенциалов на заземляющем устройстве* – разность потенциалов, возникающая между различными точками заземляющего устройства при кратком замыкании на подстанции, вызванная продольными токами и сопротивлением проводников заземляющей системы.

*Разряд статического электричества* – импульсный перенос электрического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами при непосредственном контакте или при сближении их на некоторое, достаточно малое расстояние.

*Перенапряжение* - временное возрастание напряжения в конкретной точке электрической системы выше установленного порогового значения.

*Прерывание напряжения* - ситуация, при которой напряжение в точке передачи электрической энергии меньше 5% опорного напряжения.

*Показатель качества электрической энергии* – величина, характеризующая качество электрической энергии по одному или нескольким ее параметрам.

*Провал напряжения* - временное уменьшение напряжения в конкретной точке электрической системы ниже установленного порогового значения.

*Противофазная помеха* – электромагнитная (кондуктивная) помеха, возникающая между фазным проводом и землей.

*Пульсации напряжения постоянного тока* – процесс периодического или случайного изменения постоянного напряжения относительно его среднего уровня в установившемся режиме работы источника, преобразователя электрической энергии или системы электроснабжения.

*Синфазная помеха* – электромагнитная (кондуктивная) помеха, возникающая между двумя фазными проводами.

*Сопротивление заземляющего устройства* – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

*Ток замыкания на землю* – ток, стекающий в землю в месте замыкания.

*Токоотвод* – часть молниевывода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

*Устойчивость к электромагнитной помехе, помехоустойчивость* – способность ТС сохранять заданное качество функционирования значениями воздействия на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствие дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения ТС.

*Уровень устойчивости к электромагнитной помехе, уровень помехоустойчивости* – максимальный уровень электромагнитной помехи конкретного вида, воздействующей на определенное ТС, при котором ТС сохраняет заданное качество функционирования.

*Фликер* - ощущение неустойчивости зрительного восприятия, вызванное световым источником, яркость или спектральный состав которого изменяются во времени.

*Электромагнитная совместимость технических средств (ЭМС ТС)* – способность ТС функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим ТС.

*Электромагнитная обстановка* – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, в частотном и временном диапазоне.

*Электромагнитная помеха* – электромагнитное явление, процесс, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования ТС.

*Электромагнитное возмущение (воздействие)* – любое электромагнитное явление, которое может ухудшить работы прибора, оборудования или системы, или неблагоприятно влиять на срок службы.

*Электромагнитное излучение от источника помех* – явление, процесс, при котором электромагнитная энергия излучается источником помехи в пространство в виде электромагнитных волн.

*Электропроводность грунта* - (Ом·м) - параметр, определяющий собой уровень "электропроводности" земли как проводника, то есть как хорошо будет растекаться в такой среде электрический ток от заземлителя. Это измеряемая величина, зависящая от состава грунта, размеров и плотности прилегания друг к другу его частиц, влажности и температуры, концентрации в нем растворимых химических веществ (солей, кислотных и щелочных остатков).

#### **5.1.6. Показатели и нормы качества электрической энергии**

Изменения характеристик напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети, относящихся к частоте, значениям, форме напряжения и симметрии напряжений в трехфазных системах электроснабжения, подразделяют на две категории – продолжительные изменения характеристик напряжения и случайные события.

Продолжительные изменения напряжения характеристик напряжения электропитания представляют собой длительные отклонения характеристик

напряжения от номинальных значений и обусловлены, в основном, изменениями нагрузки или влиянием нелинейных нагрузок.

Случайные события представляют собой внезапные и значительные изменения формы напряжения, приводящие к отклонению его параметров от номинальных. Данные изменения напряжения, как правило, вызываются непредсказуемыми событиями (например, повреждениями оборудования пользователя электрической сети) или внешними воздействиями (например, погодными условиями или действиями стороны, не являющимися пользователем электрической сети).

#### **5.1.6.1 Продолжительные изменения характеристик напряжения**

К продолжительным изменениям характеристик напряжения относятся:

- отклонение частоты;
- медленные изменения напряжения;
- колебания напряжения и фликер;
- несинусоидальность напряжения;
- несимметрия напряжения в трехфазных системах.

##### **Отклонение частоты**

Показателем КЭ, относящимся к частоте, является отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения,  $\Delta f$ , Гц.

$$\Delta f = f_m - f_{ном}, \quad (5.1)$$

где  $f_m$  – значение основной частоты напряжения электропитания, Гц, измеренное в интервале времени 10 с.;

$f_{ном}$  – номинальное значение частоты напряжения электропитания, Гц.

Номинальное значение частоты напряжения электропитания в электрической сети равно 50 Гц.

Для указанного показателя КЭ установлены следующие нормы:

- отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать  $\pm 0,2$  Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и  $\pm 0,4$  Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю;
- отклонение частоты в изолированных системах электроснабжения с автономными генераторными установками, не подключенных к изолированным системам передачи электрической энергии, не должно превышать  $\pm 1$  Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и  $\pm 5$  Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю.

## Медленные изменения напряжения

Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин.) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети.

Показателями КЭ, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, является отклонение напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального/согласованного значения, %:

Отклонение напряжения характеризуется показателем установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$ , которые могут быть положительными и отрицательными. Нормально допустимые и предельно допустимые значения  $\delta U_y$  на выводах приемников электрической энергии равны соответственно  $\pm 5$  и  $\pm 10$  % от номинального напряжения электрической сети.

Действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты  $U_{1(1)i}$  определяется по формуле:

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3} (U_{ABi} + U_{BCi} + U_{CAi}), \quad (5.2)$$

где  $U_{ABi}, U_{BCi}, U_{CAi}$  - действующие значения междуфазных напряжений основной частоты, В.

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле:

$$\delta U_y = \frac{U_{1(1)i} - U_{\text{ном.мф}}}{U_{\text{ном.мф}}} \cdot 100\%, \quad (5.3)$$

где  $U_{\text{ном.мф}}$  – номинальное междуфазное (фазное) напряжение, В.

В электрических сетях низкого напряжения стандартное номинальное напряжение электропитания  $U_{\text{ном}}$  равно 220 В (между фазным и нейтральным проводниками для однофазных и четырехпроводных трехфазных систем) и 380 В (между фазными проводниками для трех- и четырехпроводных трехфазных систем).

В электрических сетях среднего и высокого напряжений вместо значения номинального напряжения электропитания принимают согласованное напряжение электропитания  $U_c$ .

## Колебания напряжения и фликер

Колебания напряжения электропитания (как правило, продолжительностью менее 1 мин.), в том числе одиночные быстрые изменения напряжения, обуславливают возникновение фликера.

Одиночные быстрые изменения напряжения вызываются, в основном, резкими изменениями нагрузки в электроустановках потребителей, переключениями в системе либо неисправностями и характеризуются быстрым переходом среднеквадратического значения напряжения от одного установившегося значения к другому.

Обычно одиночные быстрые изменения напряжения не превышают 5 % в электрических сетях низкого напряжения и 4 % – в электрических сетях среднего напряжения, но иногда изменения напряжения с малой продолжительностью до 10%  $U_{nom}$  и до 6%  $U_c$  соответственно могут происходить несколько раз в день.

Если напряжение во время изменения пересекает пороговое значение начала провала напряжения или перенапряжения, одиночное быстрое изменение напряжения классифицируют как провал напряжения или перенапряжение.

Показателями КЭ, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера  $P_{st}$ , измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера  $P_{lt}$ , измеренная в интервале времени 2 ч, в точке передачи электрической энергии.

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

- кратковременная доза фликера  $P_{st}$  не должна превышать значения 1,38,
- длительная доза фликера  $P_{lt}$  не должна превышать значения 1,0 ,  
в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Колебания напряжения характеризуются размахом изменения напряжения  $\delta U_t$ ;

Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах определяется по формуле:

$$\delta U_t = \frac{|U_{max} - U_{min}|}{U_{ном.ампл}} \cdot 100\%, \quad (5.4)$$

где  $U_{max}$  и  $U_{min}$  – значения следующих один за другим экстремумов или экстремума и горизонтального участка огибающей среднеквадратичных значений напряжения основной частоты, определенных на каждом полупериоде основной частоты, В.

$U_{ном.ампл}$  – номинальное амплитудное фазное напряжение, В.

Предельно допустимое значение суммы  $\delta U_y$  и  $\delta U_t$  в точках присоединения к электрическим сетям напряжением 0,38 кВ равно  $\pm 10$  % от номинального напряжения.

## Несинусоидальность напряжения

Гармонические составляющие напряжения обусловлены, как правило, нелинейными нагрузками пользователей электрических сетей, подключаемыми к электрическим сетям различного напряжения. Гармонические токи, протекающие в электрических сетях, создают падения напряжений на полных сопротивлениях электрических сетей. Гармонические токи, полные сопротивления электрических сетей и, следовательно, напряжения гармонических составляющих в точках передачи электрической энергии изменяются во времени.

Показателями КЭ, относящимися к гармоническим составляющим напряжения являются:

- значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка  $K_{U(n)}$  в процентах напряжения основной гармонической составляющей  $U_1$  в точке передачи электрической энергии;
- значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (отношения среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей)  $K_U$ , % в точке передачи электрической энергии.

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

- а) значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_{U(n)}$ , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблицах 1—3, в течение 95 % времени интервала в одну неделю;
- б) значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_{U(n)}$ , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблицах 1—3, увеличенных в 1,5 раза, в течение 100 % времени каждого периода в одну неделю;
- в) значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$ , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблице 4, в течение 95 % времени интервала в одну неделю;
- г) значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$ , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблице 5, в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Таблица 5.2 – Значения коэффициентов нечетных гармонических составляющих напряжения не кратных трем  $K_{U(n)}$  [см. 2.1.2.4, перечисления а), б)]

Порядок гармонической составляющей $n$	Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}, \% U_1$			
	Напряжение электрической сети, кВ			
	0.38	6-25	35	110-220
5	6	4	3	1,5
7	5	3	2,5	1
11	3,5	2	2	1
13	3.0	2	1,5	0,7
17	2,0	1,5	1	0,5
19	1,5	1	1	0,4
23	1,5	1	1	0,4
25	1,5	1	1	0,4
>25	1,5	1	1	0,4

Таблица 5.3 – Значения коэффициентов нечетных гармонических составляющих напряжения, кратных трем  $K_{U(n)}$  [см. 2.1.2.4, перечисления а), б)]

Порядок гармонической составляющей $n$	Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}, \% U_1$			
	Напряжение электрической сети, кВ			
	0.38	6-25	35	110-220
3	5	3	3	1,5
9	1,5	1	1	0,4
15	0,3	0,3	0,3	0,2
21	0,2	0,2	0,2	0,2
>25	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблица 5.4 – Значения коэффициентов напряжения четных гармонических составляющих  $K_{U(n)}$  [см. 2.1.2.4, перечисления а), б)]

Порядок гармонической составляющей $n$	Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}, \% U_1$			
	Напряжение электрической сети, кВ			
	0.38	6-25	35	110-220
2	2	1,5	1	0,5
4	1	0,7	0,5	0,3
6	0,5	0,3	0,3	0,2
8	0,5	0,3	0,3	0,2
10	0,5	0,3	0,3	0,2
12	0,2	0,2	0,2	0,2
>12	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблица 5.5 – Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$  [см. 2.1.2.4, перечисления в)]

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_U$ , %			
Напряжение электрической сети, кВ			
0.38	6-25	35	110-220
8,0	5,0	4,0	2,0

Таблица 5.6 – Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$  [см. 2.1.2.4, перечисления г)]

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_U$ , %			
Напряжение электрической сети, кВ			
0.38	6-25	35	110-220
12,0	8,0	6,0	3,0

Уровень интергармонических составляющих напряжения электропитания увеличивается в связи с применением в электроустановках частотных преобразователей и другого управляющего оборудования.

Допустимые уровни интергармонических составляющих напряжения электропитания находятся на рассмотрении.

### Несимметрия напряжений в трехфазных системах

Несимметрия трехфазной системы напряжений обусловлена несимметричными нагрузками потребителей электрической энергии или несимметрией элементов электрической сети.

Показателями КЭ, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$ .

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  и несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю;
- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  и несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю.



Действующее значение напряжения по обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  определяется по формуле:

$$U_{2(1)i} = 0,62(U_{\text{нб}(1)i} - U_{\text{нм}(1)i}), \quad (5.5)$$

где  $U_{\text{нб}(1)i}, U_{\text{нм}(1)i}$  – наибольшее и наименьшее действующие значения из трех междупазных напряжений основной частоты, В.

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  определяется по формуле:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)i}}{U_{\text{ном.мф}}} \cdot 100\%, \quad (5.6)$$

где  $U_{\text{ном.мф}}$  – номинальное значение междупазного напряжения, В.

Действующее значение напряжения по нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)i}$  определяется по формуле:

$$U_{0(1)i} = 0,62(U_{\text{нб.ф}(1)i} - U_{\text{нм.ф}(1)i}), \quad (5.7)$$

где  $U_{\text{нб.ф}(1)i}, U_{\text{нм.ф}(1)i}$  – наибольшее и наименьшее из трех действующих значений фазных напряжений основной частоты, В.

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  определяется по формуле:

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)i}}{U_{\text{ном.ф}}} \cdot 100\%, \quad (5.8)$$

где  $U_{\text{ном.ф}}$  – номинальное значение фазного напряжения, В.

#### **5.1.6.2 Случайные события**

К случайным событиям относятся:

- прерывание напряжения;
- провалы напряжения;
- перенапряжения;
- импульсные перенапряжения.

## **Прерывания напряжения**

Прерывания напряжения относят к создаваемым преднамеренно, если пользователь электрической сети информирован о предстоящем прерывании напряжения, и к случайным, вызываемым длительными или кратковременными неисправностями, обусловленными, в основном, внешними воздействиями, отказами оборудования или влиянием электромагнитных помех.

Создаваемые преднамеренно прерывания напряжения, как правило, обусловлены проведением запланированных работ в электрических сетях.

Случайные прерывания напряжения подразделяют на длительные (длительность более 3 мин) и кратковременные (длительность не более 3 мин).

Ежегодная частота длительных прерываний напряжения (длительностью более 3 мин) в значительной степени зависит от особенностей системы электроснабжения (в первую очередь, применения кабельных или воздушных линий) и климатических условий. Кратковременные прерывания напряжения наиболее вероятны при их длительности менее нескольких секунд.

В трехфазных системах электроснабжения к прерываниям напряжения относят ситуацию, при которой напряжение меньше 5 % опорного напряжения во всех фазах. Если напряжение меньше 5 % опорного напряжения не во всех фазах, ситуацию рассматривают, как провал напряжения.

Пороговое значение начала прерывания считают равным 5 % опорного напряжения.

## **Провалы напряжения.**

Провалы напряжения обычно происходят из-за неисправностей в электрических сетях или в электроустановках потребителей, а также при подключении мощной нагрузки.

Провал напряжения, как правило, связан с возникновением и окончанием короткого замыкания или иного резкого возрастания тока в системе или электроустановке, подключенной к электрической сети. В соответствии с требованиями настоящего стандарта провал напряжения рассматривается как электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью. Длительность провала напряжения может быть до 1 мин.

В трехфазных системах электроснабжения за начало провала напряжения принимают момент, когда напряжение хотя бы в одной из фаз падает ниже порогового значения начала провала напряжения, за окончание провала напряжения принимают момент, когда напряжение во всех фазах возрастает выше порогового значения окончания провала напряжения.

## **Перенапряжения**

Перенапряжения, как правило, вызываются переключениями и отключениями нагрузки. Перенапряжения могут возникать между фазными проводниками или между фазными и защитным проводниками. В зависимости от устройства заземления короткие замыкания на землю могут также приводить к возникновению перенапряжения между фазными и нейтральным проводниками. В соответствии с требованиями настоящего стандарта перенапряжение рассматривается как электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью.

Длительность перенапряжения может быть до 1 мин.

Оба явления — провалы и перенапряжения — непредсказуемы и в значительной степени случайны. Частота возникновения их зависит от типа системы электроснабжения, точки наблюдения, времени года.

## **Импульсные напряжения**

Импульсные напряжения в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети вызываются, в основном, молниевыми разрядами или процессами коммутации в электрической сети или электроустановке потребителя электрической энергии. Время нарастания импульсных напряжений может изменяться в широких пределах (от значений менее 1 микросекунды до нескольких миллисекунд).

Импульсные напряжения, вызванные молниевыми разрядами, в основном, имеют большие амплитуды, но меньшие значения энергии, чем импульсные напряжения, вызванные коммутационными процессами, характеризующимися, как правило, большей длительностью.

### **5.1.7 Лабораторная работа №1**

**«Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали»**

**Цель работы:** Оценка влияния типа и характера нагрузки на показатели качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали сети. Изучение методов измерения показателей качества электрической энергии.

**Перечень приборов:** анализатор и регистратор качества электрической энергии REN700, осциллограф Fluke 196C Scopemetr color, мультиметр MASTECH MS-8268

## Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в следующей последовательности.

1) Выбираем глухозаземленный режим нейтрали – тумблер SA3 переводим в положение 1.

2) Для подачи питания на стенд, необходимо включить автоматический выключатель QF1, загорается зеленая сигнальная лампа HL, которая указывает, что питание на стенд подано.

3) Подготавливаем приборы: анализатор и регистратор качества электрической энергии REN700, осциллограф Fluke 196C Scopemetr color, мультиметр MASTECH MS-8268:

– прибор REN700, цветные проводники вставляем в гнезда прибора соответствующего цвета;

– осциллограф Fluke 196с, черный провод подключаем в гнездо питания осциллографа, находящееся в верхней части прибора справа, красный провод подключаем в гнездо «INPUT A».

### 4) Анализ отклонения напряжения и частоты, фиксация дозы фликера.

Подключаем анализатор и регистратор качества электрической энергии REN700 к оголенным гнездам A2, B2, C2, N2 в следующей последовательности:

- черный провод – A2;
- красный провод – B2;
- синий провод – C2;
- желтый провод – N2.

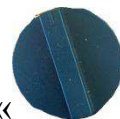
4.1) Включаем прибор REN700, нажатием клавиши подачи питания «



», раздается короткий звуковой сигнал, сигнализирующий о включении прибора.

4.2) Включаем автоматический выключатель QF2, подающий питание на активную нагрузку, тумблер SA1 переводим в положение 1, которое соответствует мощности каждой лампочки равной 40 Вт.

4.3) Поворотный переключатель функций регистратора «



устанавливаем в положение измерения напряжения «

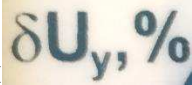


нажатием клавиши «





» (SEL) выбираем фазу L1 (мигающий символ на дисплее прибора в левой части), которая соответствует фазе A. На дисплее появляется значение данного напряжения под индексом L1. Полученную величину заносим в таблицу 5.7. Повторно нажимаем на клавишу «SEL», на дисплее появится напряжение фазы L2, которое соответствует фазе B,

полученное значение заносим в таблицу 5.7. Вновь нажимаем на клавишу «SEL» на дисплее появится напряжение фазы L3, которое соответствует фазе С, полученное значение заносим в таблицу 5.7. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение линейного напряжения L1–L2 ( $U_{AB}$ ), полученное значение записываем в таблицу 5.7. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение линейного напряжения L1–L3 ( $U_{AC}$ ), полученное значение записываем в таблицу 5.7. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение линейного напряжения L2–L3 ( $U_{BC}$ ), полученное значение записываем в таблицу 5.7.

4.4) Поворотный переключатель функций регистратора устанавливаем в положение измерения отклонения напряжения (от номинального) «»




( $\delta U_y$ , В). Нажатием клавиши «» (SET UP) выбираем измеряемую величину отклонения напряжения в процентах(%) от номинального напряжения. Через короткий промежуток времени на дисплее появится значение отклонения напряжения фазы L1 (фаза А), полученное значение записываем в таблицу 5.7. Нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение отклонения напряжения фазы L2 (фаза В), полученное значение записываем в таблицу 5.7. Вновь нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение отклонения напряжения фазы L3 (фаза С), полученное значение записываем в таблицу 5.7. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение отклонения линейного напряжения L1–L2 ( $U_{AB}$ ), полученное значение записываем в таблицу 5.7. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение отклонения линейного напряжения L1–L3 ( $U_{AC}$ ), полученное значение записываем в таблицу 5.7. Снова нажимаем клавишу «SEL», на дисплее появится значение отклонения линейного напряжения L2–L3 ( $U_{BC}$ ), полученное значение записываем в таблицу 5.7.

4.5) Поворотный переключатель функций регистратора устанавливаем в положение измерения кратковременной и длительной дозы фликера «» ( $P_{st}/P_{it}$ ). Так как по ГОСТ 13109–97 интервал времени для измерения значения кратковременной дозы фликера – 10 минут, что соответствует отведенному времени для выполнения лабораторной работы, а для длительной дозы – 12 интервалов (2 часа), что превышает время, отведенное на выполнение лабораторной работы, то соответственно снимаем только кратковременную дозу




фликера. С помощью клавиш «», «» выбираем параметр измерения



кратковременной дозы фликера  $M P_{st}$ . Нажатием клавиши «» (START), запускаем измерение кратковременной дозы фликера, одновременно производится для всех 3-х фаз. На жидкокристаллическом дисплее (через небольшой промежуток времени) отображается время, оставшееся до

завершения измерения. После окончания времени, нажимаем клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L1 появляется значение фликера фазы А, полученную величину заносим в таблицу 5.7. Вновь нажимаем на клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L2 появляется значение фликера фазы В, полученную величину заносим в таблицу 5.7. Снова нажимаем клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L3 появляется значение фликера фазы С, полученную величину заносим в таблицу 5.7.

4.6) Поворотный переключатель функций регистратора устанавливаем в положение измерения частоты сети «»  $f$ , Гц. Затем нажимаем клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L1 появляется значение частоты переменного тока фазы А, записываем полученную величину в таблицу 5.7. Снова нажимаем клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L2 появляется значение частоты переменного тока фазы В, записываем полученную величину в таблицу 5.7. Вновь нажимаем клавишу «SEL» и на дисплее под индексом L3 появляется значение частоты переменного тока фазы С, записываем полученную величину в таблицу 5.7.

4.7) Тумблер SA1 переводим в положение 2, которое соответствует мощности каждой лампочки 60 Вт. Повторяем алгоритм действий приведенных в пунктах 4.3 – 4.6. После выполнения измерений и фиксации данных тумблер SA1 переводим в среднее положение, автоматический выключатель QF2 отключаем. Делаем вывод, как влияет изменение активной нагрузки на изменение качества электрической энергии.

4.8) Включаем автоматический выключатель QF3, подающий питание на импульсную нагрузку. Тумблер SA2 переводим в положение 1, которое соответствует мощности каждой светодиодной лампы 6,5Вт. Повторяем алгоритм действий, приведенных в пунктах 4.3 – 4.6. После выполнения измерений и фиксации данных, тумблер SA2 переводим в положение 2, которое соответствует мощности каждой светодиодной лампы 10Вт, повторяем алгоритм действий приведенных в пунктах 4.3 – 4.6. После выполнения измерений и фиксации данных, тумблер SA2 переводим в среднее положение, автоматический выключатель QF3 отключаем. Делаем вывод, как влияет изменение импульсной нагрузки на изменение качества электрической энергии.

4.9) Включаем автоматический выключатель QF4, подающий питание на емкостную нагрузку. Тумблеры SA4, SA5, SA6 переводим в положение 1 (рычажок тумблера направлен в противоположную сторону от конденсаторов). Это указывает на то, что конденсаторы С4, С5, С6 отключены от сети. Емкость каждого конденсатора С1, С2, С3 составляет 20мкФ. Повторяем алгоритм действий приведенных в пунктах 4.3-4.6. После выполнения измерений и фиксации данных, тумблеры SA4, SA5, SA6 переводим в положение 2 (рычажок тумблера направлен в сторону конденсаторов). Емкость каждого конденсатора С4, С5, С6 равна 45мкФ. Емкость каждой фазы сети составит 65мкФ. Повторяем алгоритм действий приведенных в пунктах 4.3-4.6. После выполнения измерений и фиксации данных, тумблеры SA4 и SA5 переводим в положение 1, создавая тем самым неравномерную нагрузку. Повторяем алгоритм действий

приведенных в пунктах 4.3-4.6. После выполнения измерений и фиксации данных автоматический выключатель QF4 отключаем. Делаем вывод, как влияет изменение, и неравномерность нагрузки на показатели качества электрической энергии

4.10) Включаем автоматический выключатель QF5, подающий питание на индуктивную нагрузку (представленную в виде преобразователь-двигатель постоянного тока). Повторяем алгоритм действий приведенных в пунктах 4.3-4.6. После выполнения измерений и фиксации данных, автоматический выключатель QF5 отключаем. Делаем вывод, как влияет индуктивная нагрузка на показатели качества электрической энергии

Таблица 5.7 – Анализ отклонения напряжений и частоты, фиксация дозы фликера

$U, В$		$\delta U_y, \%$		$P_{st}$	$f, Гц$
фазное	междуфазное	фазное	междуфазное		
Активная нагрузка					
L1=	L1-L2=	L1=	L1-L2=	L1=	L1=
L2=	L1-L3=	L2=	L1-L3=	L2=	L2=
L3=	L2-L3=	L3=	L2-L3=	L3=	L3=
Импульсная нагрузка					
L1=	L1-L2=	L1=	L1-L2=	L1=	L1=
L2=	L1-L3=	L2=	L1-L3=	L2=	L2=
L3=	L2-L3=	L3=	L2-L3=	L3=	L3=
Емкостная нагрузка					
L1=	L1-L2=	L1=	L1-L2=	L1=	L1=
L2=	L1-L3=	L2=	L1-L3=	L2=	L2=
L3=	L2-L3=	L3=	L2-L3=	L3=	L3=
Индуктивная нагрузка					
L1=	L1-L2=	L1=	L1-L2=	L1=	L1=
L2=	L1-L3=	L2=	L1-L3=	L2=	L2=
L3=	L2-L3=	L3=	L2-L3=	L3=	L3=

## 5) Анализ несинусоидальности и определение наличия высших гармоник в токе нагрузки, в фазных и линейных напряжениях сети.

Подключим блок питания осциллографа Fluke 196с к сети напряжением 220В с помощью штепсельного разъема.

5.1) Для снятия осциллограмм тока, фазных и линейных напряжений, при характере нагрузки активной, импульсной, емкостной, индуктивной и анализа этих осциллограмм на наличие высших гармоник используем щупы канала «А» осциллографа Fluke 196с.

### Активная нагрузка P=40Вт

5.2) Включаем автоматический выключатель QF2, подающий питание на активную нагрузку, тумблер SA1 переводим в положение 1. Для снятия осциллограммы тока, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (B3), (B4) на его лицевой части.

5.3) Включаем осциллограф нажатием клавиши подачи питания «»

Закрываем информационное окно на экране нажатием клавиши «»

(F4). Нажимаем клавишу «» (SCOPE), на жидкокристаллическом дисплее появляется меню. Нажимаем клавишу «» (F2), появляется меню выбора измеряемого параметра «Reading 1» стрелками на панели  выбираем соответствующий опыту параметр измерения ( $V_{ac}$  –измерение осциллограммы переменного напряжения;  $V_{dc}$  – измерение осциллограммы постоянного напряжения,  $A_{ac}$  –измерение осциллограммы тока), после выбора параметра зафиксировать его нажатием клавиши «F4», на дисплее высвечивается меню выбора пределов измерения, нажимаем клавишу «» (F4). Далее нажатием клавиши «» (AUTO/MANUAL) выбираем автоматический режим регулирования осциллограммы. Зафиксируем осциллограмму нажатием клавиши «» (HOLD/RUN). Сделаем фотографию осциллограммы. По окончании эксперимента нажимаем клавишу «HOLD/RUN». Отключаем осциллограф.

5.4) Для снятия осциллограммы фазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (B3), (N1) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.5) Для снятия осциллограммы междуфазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (B3), (A1) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.6) Переводим тумблер SA1 в среднее положение, отключаем автоматический выключатель QF2.

5.7) Анализируем полученные осциллограммы на наличие высших гармоник, делаем вывод.

### Активная нагрузка $P=60\text{Вт}$

5.8) Включаем автоматический выключатель QF2, подающий питание на активную нагрузку, тумблер SA1 переводим в положение 2. Для снятия осциллограммы тока, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (B3), (B4) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.



5.9) Для снятия осциллограммы фазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В7), (N1) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.10) Для снятия осциллограммы междуфазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В7), (А1) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.11) Переводим тумблер SA1 в среднее положение, отключаем автоматический выключатель QF2.

5.12) Анализируем полученные осциллограммы на наличие высших гармоник, делаем вывод.

### **Импульсная нагрузка P=6,5Вт**

5.13) Включаем автоматический выключатель QF3, подающий питание на импульсную нагрузку, тумблер SA2 переводим в положение 1. Для снятия осциллограммы тока, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В7), (В8) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.14) Для снятия осциллограммы фазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В7), (N1) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.15) Для снятия осциллограммы междуфазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В7), (А1) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.16) Переводим тумблер SA2 в среднее положение, отключаем автоматический выключатель QF3.

5.17) Анализируем полученные осциллограммы на наличие высших гармоник, делаем вывод.

### **Импульсная нагрузка P=10Вт**

5.18) Включаем автоматический выключатель QF3, подающий питание на импульсную нагрузку, тумблер SA2 переводим в положение 2. Для снятия осциллограммы тока, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В7), (В8) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.19) Для снятия осциллограммы фазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В7), (N1) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.20) Для снятия осциллограммы междуфазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (В7), (А1) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.21) Переводим тумблер SA2 в среднее положение, отключаем автоматический выключатель QF3.

5.22) Анализируем полученные осциллограммы на наличие высших гармоник, делаем вывод.

#### **Емкостная нагрузка $C=20\text{мкФ}$**

5.23) Включаем автоматический выключатель **QF4**, подающий питание на емкостную нагрузку, тумблеры **SA4–SA6** оставляем в исходном положении (1). Для снятия осциллограммы тока, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B11**), (**B12**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.24) Для снятия осциллограммы фазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B11**), (**N1**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.25) Для снятия осциллограммы междофазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B11**), (**A1**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.26) Отключаем автоматический выключатель **QF3**.

5.27) Анализируем полученные осциллограммы на наличие высших гармоник, делаем вывод.

#### **Емкостная нагрузка $C=65\text{мкФ}$**

5.28) Включаем автоматический выключатель **QF4**, подающий питание на емкостную нагрузку, тумблеры **SA4–SA6** переключаем в положение (2). Для снятия осциллограммы тока, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B11**), (**B12**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.29) Для снятия осциллограммы фазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B11**), (**N1**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.30) Для снятия осциллограммы междофазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B11**), (**A1**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.31) Отключаем автоматический выключатель **QF4**, тумблеры **SA4**, **SA5**, **SA6** переводим в положение 1.

5.32) Анализируем полученные осциллограммы на наличие высших гармоник, делаем вывод.

#### **Двигательная (индуктивная) нагрузка**

5.33) Включаем автоматический выключатель **QF5**, подающий питание на индуктивную нагрузку. Для снятия осциллограммы тока, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B13**), (**B14**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.34) Для снятия осциллограммы фазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B13**), (**N1**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.35) Для снятия осциллограммы междуфазного напряжения, подключим щупы канала «А» осциллографа в гнезда стенда (**B13**), (**A1**) на его лицевой части. Повторяем алгоритм действий приведенных в пункте 5.3.

5.36) Отключаем автоматический выключатель **QF5**.

5.37) Анализируем полученные осциллограммы на наличие высших гармоник, делаем вывод.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что такое прерывание напряжения?
2. Что такое провал напряжения?
3. Что такое импульсное перенапряжение?
4. Что такое перенапряжение?
5. Какие перенапряжения возникают при коммутации электродвигателей?
6. Существует ли несимметрия напряжения в сети с глухозаземленным режимом нейтрали?
7. Что такое колебание напряжения?
8. Как влияют конденсаторы на высшие гармоники тока?
9. Как влияет индуктивность на высшие гармоники тока?
10. Какие показатели относятся к качеству электрической энергии?

### **5.2 Возможные варианты выполнения лабораторной работы.**

Разработанный стенд позволяет выполнить лабораторную работу «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали» в двадцати вариантах, которые представлены в таблице 5.8

Таблица 5.8 – Варианты комбинаций нагрузок

№ п.п.	Вариант комбинации нагрузок	Необходимая коммутация	Клеммы в которые подключаются щупы осциллографа		
			Ток нагрузки	Фазное напряжение	Междуфазное напряжение
1.	Лампочки P=40Вт, конденсаторы C=20мкФ	QF1, QF2, QF4, SA1 (1)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
2.	Лампочки P=40Вт, конденсаторы C=20+45=65мкФ	QF1, QF2, QF4, SA1 (1) SA4, SA5, SA6	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
3.	Лампочки P=40Вт, конденсаторы C= 20мкФ, неравномерный несимметричный режим	QF1, QF2, QF4, SA1 (1), SA4	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
4.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт	QF1, QF2, QF3, SA1 (1), SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
5.	Лампочки P=40Вт, двигатели	QF1, QF2, QF5, SA1 (1)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
6.	Светодиоды P=10Вт, конденсаторы C=20мкФ	QF1, QF3, QF4, SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
7.	Светодиоды P=10Вт, конденсаторы C=20+45=65мкФ	QF1, QF3, QF4, SA2 (2), SA4, SA5, SA6	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
8.	Светодиоды P=6,5Вт, двигатели	QF1, QF3, QF5, SA2 (1)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
9.	Светодиоды P=10Вт, двигатели	QF1, QF3, QF5, SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
10.	Конденсаторы C=20мкФ, двигатели	QF1, QF4, QF5	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
11.	Конденсаторы C=20+45=65мкФ, двигатели	QF1, QF4, QF5, SA4, SA5, SA6	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
12.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт, Конденсаторы C=20мкФ	QF1, QF2, QF3, QF4, SA1 (1), SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
13.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт, Конденсаторы C=20+45=65мкФ	QF1, QF2, QF3, QF4, SA1 (1), SA2 (2), SA4, SA5, SA6	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
14.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=6,5Вт, двигатели	QF1, QF2, QF3, QF5, SA1 (1), SA2 (1)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
15.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт, двигатели	QF1, QF2, QF3, QF5, SA1 (1), SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2

Продолжение таблицы 5.8

16.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт, Конденсаторы C=20мкФ, двигатели	QF1, QF2, QF4, QF5, SA1 (1), SA2 (2)	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
17.	Лампочки P=40Вт, светодиоды P=10Вт, Конденсаторы C=20+45=65мкФ, двигатели	QF1, QF2, QF4, QF5, SA1 (1), SA2 (2), SA4, SA5, SA6	A1 - A2	A2 – N2	A2 – B2
18.	Перенапряжения при коммутации конденсаторов C=20мкФ	QF1, QF4 включаем и фиксируем осциллограмму; QF4 отключаем и фиксируем осциллограмму	-	B12 – «земля»	A2 – B2
19.	Перенапряжения при коммутации конденсаторов C=20+45=65мкФ	QF1, QF4 включаем и фиксируем осциллограмму; QF4 отключаем и фиксируем осциллограмму	-	B12 – «земля»	A2 – B2
20.	Перенапряжения при коммутации двигателей	QF1, QF5 включаем и фиксируем две осциллограммы по постоянному и переменному напряжению; QF5 отключаем и фиксируем две осциллограммы по постоянному и переменному напряжению	-	1ый канал: «+» - «земля» 2ой канал: C3 –N5	A2 – B2

В таблице для каждого варианта приведена последовательность коммутации, указаны клеммы к которым необходимо подключать осциллограф. Прибор REN-700 подключается на оголенные клеммы A2, B2, C2, N2 в следующем порядке:

- черный провод подсоединяется на клемму A2;
- красный провод подсоединяется на клемму B2;
- синий провод подсоединяется на клемму C2;
- желтый провод подсоединяется на клемму N2;

Номер варианта выполнения лабораторной работы выдает преподаватель.

## **6 Безопасность жизнедеятельности**

Безопасность жизнедеятельности – это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека.

Безопасность – это комплексная система мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью. Чем сложнее вид деятельности, тем более расширена система защиты.

Для обеспечения безопасности конкретной деятельностью должны быть решены три задачи:

1. Разработать эффективные меры защиты человека и среды обитания от выявленных опасностей. Под "эффективными" подразумеваются такие меры по защите, которые при минимуме материальных затрат обеспечивают максимальный эффект;

2. Произвести полный детальный анализ опасностей формируемых в изучаемой деятельности;

3. Разработать эффективные меры защиты от остаточного риска данной деятельности. Они необходимы, так как обеспечить абсолютную безопасность деятельности не возможно.

### **6.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов**

Рабочее место - СФУ, Институт горного дела, геологии и геотехнологии, учебный корпус, кафедра ЭГМП, аудитория №307.

Оборудование - стенд для проведения лабораторных работ («Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В с изолированным режимом нейтрали»).

Таблица 6.1 – Вредные и опасные факторы

п/п	Рабочее место или операция технологического процесса	Оборудование	Опасный (вредный) фактор, единица измерения	Величина фактора	Норматив (безопасная величина) со ссылкой на ГОСТ, СНиП и т.п.
	Аудитория №307	Лабораторный стенд	Напряжение	380В	50В РД153-34.0—3.150-00 п.10.4

### **6.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда**

Перед выполнением задания по выполнению лабораторной работы, студент должен пройти инструктаж по безопасному выполнению работы и получить дополнительные указания от преподавателя.

Стенд представляет собой стол размером 1200x750мм. Всё оборудования размещено внутри стенда и на задней стенке. Доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенда из изоляционного материала. Все токоведущие части стенда

выполнены в двойной изоляции. Дополнительно присутствуют предупреждающие знаки и надпись на крышке задней панели «Не открывать, не отключив от сети» и знак электрической опасности. Дополнительно на стенде обозначена величина напряжения.

Помещение, в котором установлен стенд, имеет температуру окружающего воздуха  $+25^{\circ}\text{C}$ , при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения – естественная. С помощью окон обеспечивается кратность воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494–2011.

### **Электробезопасность.**

Стенд подключен к сети переменного тока напряжением 24В. На входе питания в стенд установлен автоматический выключатель, который выполняет функции выключателя и защиты, при коротких замыканиях и перегрузках. Питание стенда выполнено путем подключения гибкого кабеля с двойной изоляцией.

Эксплуатационному персоналу запрещается производить разборку стенда, снятие задней и передней стенки без отключения вводного автоматического выключателя на стенде и отключения питающего кабеля путем отключения разъемного соединения на распределительном щитке в аудитории №307.

### **Правила безопасности перед выполнением работы.**

Проверить отсутствие напряжения на лабораторном стенде (автоматический выключатель должен быть выключен, индикаторная лампа не должна гореть).

Работая в лаборатории, студенты не должны отвлекаться и отвлекать других. Запрещается самовольное расширение рабочего места.

Студент должен предварительно проверить соответствие выполняемой работы порученному заданию. В случае неясности пригласить для проверки преподавателя или лаборанта.

### **Правила безопасности при выполнении работы.**

Включение стенда производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания эксплуатирующий персонал должен проверить срабатывание автоматического выключателя. При повреждении оборудования, студент должен немедленно отключить автоматический выключатель на щитке рабочего места. Обо всех неисправностях, эксплуатирующий персонал, не делая попыток к исправлению, должен немедленно сообщить преподавателю.

При отсутствии напряжения в цепи автоматический выключатель должен быть в отключенном состоянии.

В случае прекращения опыта или перерыва в работе стенд надо обязательно отключить от сети.

Во время выполнения работы на стенде запрещается:

- Выполнять действия, противоречащие полученным заданиям и методичек;
- Оставлять без наблюдения стенд, находящийся под напряжением;
- Включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и тумблеры.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.

### **Правила безопасности по окончании работы.**

По окончании лабораторной работы, студент должен поставить в известность преподавателя или лаборанта. После проверки и разрешения преподавателя следует:

- выключить автомат питания;
- навести порядок на рабочем месте;
- сообщить преподавателю или лаборанту об окончании работы на стенде.

### **Правила безопасности при аварийных ситуациях**

При обнаружении угрозы взрыва, пожара или иной аварийной ситуации необходимо немедленно покинуть зону, предупредить об опасности других студентов и сообщить о случившемся преподавателю.

В случае возникновения пожара необходимо обесточить электроустановку и организовать тушение имеющимися средствами и сообщить о пожаре преподавателю.

Запрещается тушить электроустановку, находящуюся под напряжением водой, химической пеной. Разрешается использовать порошковые и углекислотные огнетушители.

При поражении электрическим током необходимо как можно скорее освободить пострадавшего от действия тока, согласно пункту 5.3.

## **6.3 Освобождение пострадавшего от электрического тока (токопроводящего провода)**

Первым действием оказывающего помощь должно быть быстрое отключение той части электроустановки, которой касается пострадавший



(отключение рубильника). Если пострадавший находится на высоте, то необходимо принять меры, исключающие его падение, которое может возникнуть при отключении электроустановки.

При невозможности быстрого отключения принимаются меры к отделению пострадавшего от токоведущих частей. В установках до 1000 В можно отделить пострадавшего от токоведущих частей, взявшись за сухие части одежды, воспользовавшись сухой палкой, доской или каким либо другим сухим предметом, не проводящим электрический ток, избегая при этом прикосновения к окружающим металлическим предметам и частям тела пострадавшего, не прикрытые одеждой. Для изоляции рук оказывающий помощь, если необходимо коснуться тела пострадавшего и для обеспечения дополнительной безопасности, должен надеть диэлектрические перчатки или обмотать руку шарфом, натянуть на руку рукав кофты (куртки). Можно также изолировать себя, встав на резиновый коврик, сухую доску или сверток одежды, т.е. подстилку, не проводящую электрический ток.

При затруднении отделения пострадавшего от токоведущих частей следует перерубить провод топором с сухой деревянной ручкой или перекусить пассатижами каждый провод отдельно, используя при этом также токоизолирующую подстилку. При отделении пострадавшего от токоведущих частей рекомендуется действовать по возможности одной рукой

#### **6.4 Мероприятия по производственной санитарии**

Помещение, в котором установлен стенд, имеет стены – побеленные в белый цвет. Пол – деревянный, способ уборки – влажной тряпкой.

Система отопления – централизованное, вид теплоносителя – горячая вода до 85<sup>0</sup>С. В качестве нагревательного прибора используются чугунные батареи в количестве 4 штук по 7 рёбер.

На каждом этаже имеется мужской и женский санузел. Все санузлы оборудованы умывальниками. На первом этаже размещён гардероб.

Аудитория имеет площадь 68,4 м<sup>2</sup>. Количество оконных проёмов – 4, размеры – 1,5х2,5 м. Оконные рамы выполнены из материала ПВХ с тройным стеклопакетом.

Искусственное освещение аудитории выполнено светильниками с люминесцентными лампами типа ЛД-18. Количество светильников – 18 шт., количество ламп в светильнике – 4шт. Нормируемое освещение согласно СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" составляет 100 лк.

Данное помещение имеет естественный воздухообмен.

Стенд расположен задней стенкой вплотную к стене здания.

## **6.5 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности**

Возможные источники взрывоопасности – отсутствуют.

Источники пожароопасности: короткое замыкание электрической цепи, небрежное отношение с открытым огнём (проведение ремонтных работ технических коммуникаций). В производстве не используются горючие газообразные, жидкие или твердые вещества.

Аудитория оборудована двумя огнетушителями, в коридоре имеется один огнетушитель и ящик с песком. Огнетушители типа ОП-5. На случай пожара здание учебного корпуса оборудовано противопожарной сигнализацией, звуковым оповещением и включением табличек эвакуационных выходов.

В случае возникновения пожара студент обязан:

- а) немедленно отключить главный рубильник или автоматический выключатель;
- б) принять меры по удалению всех людей из опасной зоны;
- в) вызвать пожарную охрану по телефону 01 или 112;
- г) принять меры к ликвидации пожара первичными и подручными средствами; при невозможности самостоятельной ликвидации очага пожара - покинуть помещение, плотно закрыв за собой двери.

Доврачебная помощь при поражении человека электрическим током:

1. Освободить пострадавшего от действия электрического тока;
2. Вызвать врача по телефону 03 или 112;
3. При необходимости давать нюхать нашатырный спирт, сделать искусственное дыхание и наружный массаж сердца;
4. Обеспечить пострадавшему покой.

## 7 Разработка сетевого графика

При написании дипломной работы требуется построение сетевой модели, позволяющей оценить вероятность её завершения в запланированные сроки. Учитывая большой объем работы при создании лаборатории и разработке вышеуказанного стенда «Оценка воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 110, 220кВ, к выполнению дипломной работы приступили заблаговременно, с учетом того, что общий период не должен превышать 45 дней. Проведем расчет вероятностного сетевого графика.

### Составление сетевой модели

Для расчета сетевой модели составим таблицу 7.1 с перечнем необходимых работ.

Таблица 7.1 – Перечень необходимых работ

Наименование работы	Код работы	Продолжительность работ
Получение задания на работу	1-2	1
Работа с литературой	2-3	7
Обзор темы	2-4	5
Расчет и оформление дипломной работы	2-8	14
Теоретическое изучение влияния электромагнитных помех на функционирование МПУ	3-7	12
Разработка лаборатории по курсу электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях	4-5	10
Разработка схемы стенда	5-6	13
Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда	6-8	10
Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы	7-8	9
Рецензирование дипломной работы	8-9	5
Защита дипломной работы	9-10	1

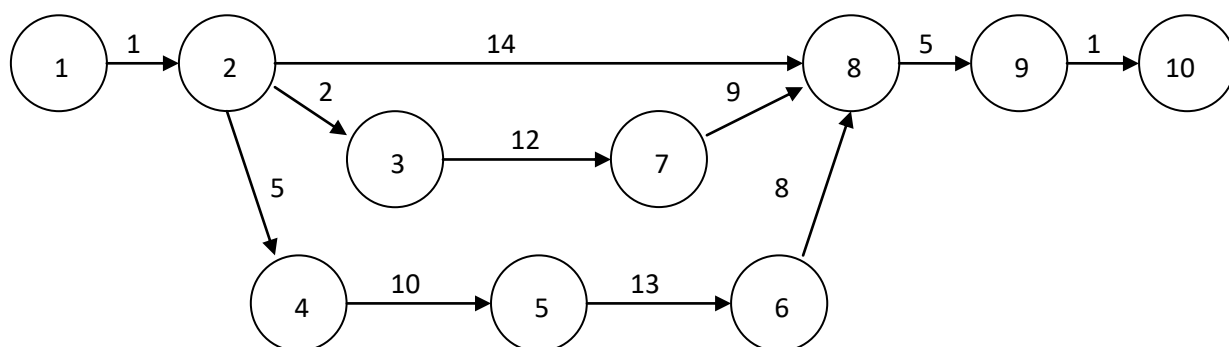


Рисунок 7.1 – Сетевой график выполнения дипломной работы

Рассчитываем параметры сетевого графика и сводим в таблицу 6.2

Таблица 7.2 – Расчет сетевого графика

Номер начального события предшествующей работы	Код работы	Раннее начало работы	Раннее окончание работы	Позднее начало работы	Позднее окончание работы	Полный резерв времени	Свободный резерв времени
0	1-2	0	1	0	1	0	0
1	2-3	1	3	1	3	13	0
1	2-4	1	6	1	6	0	0
1	2-8	1	15	1	15	22	28
2	3-7	3	15	3	15	13	0
2	4-5	6	16	6	16	0	0
4	5-6	16	29	16	29	0	0
5	6-8	29	37	29	37	0	0
3	7-8	15	24	15	24	13	19
2;6;7	8-9	37	42	37	42	0	0
8	9-10	42	43	42	43	0	0

На сетевом графике 3 пути. Путь 3 является критическим. Его продолжительность – 43 дня и он не имеет резерва пути, но по отношению к сроку выполнения работы резерв составляет 2 дня.

$L_1$ : 1-2-8-9-10  $t_{L1} = 20$

$L_2$ : 1-2-3-7-8-9-10  $t_{L2} = 30$

$L_3$ : 1-2-4-5-6-8-9-10  $t_{кр} = t_{L3} = 43$

Работа 2-3:

Раннее начало работы:

$$t_{pn(23)} = \max t_{(ni)} = 1 \quad (6.1)$$

Раннее окончание работы:

$$t_{po(23)} = t_{pn(23)} + t_{(23)} = 1 + 2 = 3 \quad (6.2)$$

Позднее окончание работы:

$$t_{no(23)} = \min t_{ni} = 3 \quad (6.3)$$

Позднее начало работы:

$$t_{nn(23)} = t_{no(23)} - t_{(23)} = 3 - 2 = 1 \quad (6.4)$$

Полный резерв времени:

$$R_{n(23)} = t_{kp(23)} - t_{p(2)} - t_{(23)} = 43 - 28 - 2 = 13 \quad (6.5)$$

Свободный резерв времени:

$$R_{c(23)} = t_{n(3)} - t_{p(2)} - t_{(23)} = 3 - 1 - 2 = 0 \quad (6.6)$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы изложены в следующих выводах:

1. Разработанная лаборатория, включающая в себя шесть стендов позволяет выполнить двенадцать лабораторных работ по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»
2. Каждый стенд позволяет выполнять лабораторную работу в количестве вариантов от трёх до тридцати, в зависимости от функциональных возможностей каждого стенда. Варианты выполнения работ выдает преподаватель.
3. Компьютерное моделирование позволило разработать принципиальную схему стенда, на которой наглядно демонстрируются основные показатели качества электрической энергии в сетях до 1000В.
4. Электрическая схема стенда полностью соответствует виртуальной схеме, полученной при моделировании. И позволяет выполнять измерения отклонения и частоты, отклонение фазного и линейного напряжения, измерение дозы фликера, снимать осциллограммы тока нагрузки фазных и линейных напряжений и как следствие оценивать несинусоидальность тока и напряжения, а также гармонический состав тока и напряжения.
5. Апробация работы стенда позволила разработать алгоритмы выполнения лабораторных работ: «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали», «Оценка и измерение качества электрической энергии в сетях до 1000В с изолированным режимом нейтрали»
6. Разработанное методическое обеспечение позволяет выполнить двадцать вариантов по каждой лабораторной работе.
7. В методическом обеспечении имеется таблица возможных вариантов выполнения лабораторных работ.
8. Разработанный стенд и методическое обеспечение полностью соответствует цели дипломной работы.
9. В лаборатории предусмотрены все условия для безопасного выполнения лабораторных работ с позиции безопасности жизнедеятельности человека.
10. Разработанный сетевой график позволил рассчитать время и силы для полноценного и качественного выполнения дипломной работы.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АД – асинхронный двигатель

АСУ ТП – автоматическая система управления технологическими процессами

ЗУ – заземляющее устройство

КЗ – короткое замыкание

КЭ – качество электрической энергии

МПУ – микропроцессорные устройства

ОПУ – общеподстанционный пункт управления

ОРУ – открытое распределительное устройство

ПС – подстанция

РЗА – релейная защита и автоматика

РУ - распределительное устройство

ТН – трансформатор напряжения

ТТ – трансформатор тока

ХХ – холостой ход

ШУП – шина уравнивания потенциалов

ЭМО – электромагнитная обстановка

ЭМС – электромагнитная совместимость

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

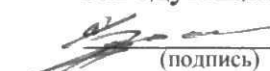
1. СО 34.35.311-2004 Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях.- Введ. 13.02.2004 – Москва: МЭИ, 2004 – 78с.
2. СТО 56947007- 29.240.044-2010 Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. – Введ. 21.04.2010 – Москва: МЭИ, 2010 –147с.
3. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / А.Ф. Дьяков, Б. К. Максимов, Р.К. Борисов, И.П. Кужекин, А.В. Жуков; Под ред. А.Ф. Дьякова. М.: Энергоатомиздат, 2003. – 214с.
4. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем. И.П. Кужекина / Под ред. Б.К. Максимова. М.: Энергоатомиздат,1995. – 147с.
5. Шваб А, Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В.Д. Мазина и СД. Спектра. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И.П. Кужекина. М.: Энергоатомиздат,1998. –231с.
6. Кармашев В.С, Электромагнитная совместимость технических средств: Справочник М.: Изд-во Норт, 2001. – 196с.
7. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.
8. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем. Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 228 с.
9. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и радиоконтроль. Методы оценки и эффективности. Монография / Под ред. П.А. Сая. – М.: Радиотехника, 2015. – 400 с.
10. Ромащенко М.А. Основы внутриаппаратурной электромагнитной совместимости: учеб. пособие. – Воронеж. «Воронежский государственный технический университет», 2015. – 144 с.



Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ  
(институт)  
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО  
ПРОИЗВОДСТВА  
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.В. Кузьмин  
(подпись) (инициалы, фамилия)

« 14 » февраля 2018г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.10 Электрификация и автоматизация горного производства

(код и наименование специализации)

«Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».  
Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В с глухозаземленным режимом нейтрали».  
(тема)

Пояснительная записка


Руководитель

  
(подпись, дата)

к.т.н., доцент  
(должность, ученая степень)

В.А. Меньшиков  
(инициалы, фамилия)

Выпускник

  
(подпись, дата)

И.А. Жалнин  
(инициалы, фамилия)

Красноярск 2018г.